

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES**

**TEMA:  
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR  
ANAEROBIO CON SISTEMA DE CALENTAMIENTO BASADO EN ENERGÍAS  
ALTERNATIVAS PROYECTADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

**AUTORES:  
TAMARA ABIGAIL FABARA PERALVO  
BRYAN STEVEN NÚÑEZ OÑATE**

**TUTORA:  
XIMENA DEL ROCÍO BORJA VELA**

**Quito, octubre del 2020**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros Tamara Abigail Fabara Peralvo con documento de identificación N° 175096303-3 y Bryan Steven Núñez Oñate con documento de identificación N° 172448521-2, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR ANAEROBIO CON SISTEMA DE CALENTAMIENTO BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS PROYECTADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, octubre 2020

.....  
Tamara Abigail Fabara Peralvo  
175096303-3

.....  
Bryan Steven Núñez Oñate  
172448521-2

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR ANAEROBIO CON SISTEMA DE CALENTAMIENTO BASADO EN ENERGÍAS ALTERNATIVAS PROYECTADO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS** realizado por Tamara Abigail Fabara Peralvo y Bryan Steven Núñez Oñate, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre 2020



.....  
**Ximena del Rocío Borja Vela**  
1711223584

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivo Específico .....	3
3. MARCO TEÓRICO .....	4
3.1. Energías renovables .....	4
3.2. Energía solar térmica .....	5
3.2.1. Radiación directa:.....	5
3.2.2. Radiación difusa:.....	5
3.2.3. Radiación reflejada o albedo: .....	5
3.2.4. La radiación global:.....	6
3.3. Funcionamiento de la energía solar térmica .....	6
3.4. Efecto termosifón .....	7
3.5. Transferencia de calor.....	8
3.5.1. Conducción: .....	8
3.5.2. Convección:.....	8
3.5.3. Radiación:.....	8
3.6. Sistema de intercambio de calor .....	9
3.7. Recipientes encamisados .....	9
3.8. Selección de materiales.....	10
3.9. Balance de energía .....	11
3.9.1. Cálculo del calor de la biomasa.....	12
3.9.2. Cálculo del calor de la pared interna .....	13
3.9.3. Cálculo del calor del aislamiento .....	13
3.9.4. Cálculo del calor de la pared externa .....	14
3.9.5. Cálculo del calor mediante convección.....	15
3.10. Reactores biológicos .....	15
3.10.1. Tipos de reactores .....	16
3.10.2. Condiciones óptimas de funcionamiento de un reactor en condiciones anaerobias.....	17
3.11. Balance de masas .....	18
3.12. Variables de control.....	19
3.13. Diseño de digestor enchaquetado.....	20
3.13.1. Diseño de altura del biorreactor.....	20
3.13.2. Diseño chaqueta de calentamiento.....	21
3.13.3. Diseño del mezclador .....	23

3.13.4.	Diámetro del rodete .....	23
3.13.5.	Espacio entre el rodete y la base del digestor .....	24
3.13.6.	Longitud del eje .....	24
3.13.7.	Cálculo del alto y largo de la paleta.....	25
3.13.8.	Número de aspas.....	25
3.13.9.	Cálculo de potencia del mezclador .....	25
3.13.9.2.	Cálculo del número de .....	26
3.14.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.....	27
3.15.	Tiempo de retención.....	29
3.16.	Estudio de sostenibilidad .....	30
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
4.1.	Materiales .....	31
4.1.1.	Materias primas:.....	31
4.1.2.	Materiales e Insumos:.....	31
4.2.	Lugar de investigación.....	32
4.3.	Métodos .....	33
4.3.1.	Diseño de biorreactor .....	34
4.3.2.	Diseño chaqueta de calentamiento .....	35
4.3.3.	Diseño del mezclador .....	36
4.3.4.	Cálculo del coeficiente de transferencia de calor .....	41
4.3.5.	Balance de energía.....	43
4.3.6.	Partes del equipo .....	52
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
5.1.	Digestor enchaquetado.....	53
5.2.	Pruebas de los equipos.....	55
5.3.	Etapas de diagnóstico .....	57
5.3.1.	Pruebas del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación .....	57
5.3.2.	Pruebas del sistema de calentamiento sin recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación .....	62
5.3.3.	Prueba del digestor enchaquetado a temperatura ambiente.....	66
5.3.4.	Prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación .....	68
5.4.	Puesta en marcha .....	72
5.4.1.	Prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante.....	72
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
6.1.	Conclusiones.....	76

6.2. Recomendaciones .....	77
7. BIBLIOGRAFÍA.....	78
8. ANEXOS.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de Energía.</i> .....	4
Tabla 2 <i>Variables para un proceso metanogénico.</i> .....	20
Tabla 3 <i>Constantes en función al tipo de agitación.</i> .....	29
Tabla 4 <i>Lista de implementos.</i> .....	31
Tabla 5 <i>Características físicas del digestor enchaquetado.</i> .....	53
Tabla 6 <i>Características operativas del digestor enchaquetado.</i> .....	54
Tabla 7 <i>Características del colector solar.</i> .....	54
Tabla 8 <i>Variables de control.</i> .....	57
Tabla 9 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados).</i> .....	59
Tabla 10 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de recirculación en prueba a 10 grados de inclinación (reservorio y reservorio alterno).</i> .....	59
Tabla 11 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de recirculación en prueba a 45 grados de inclinación (reservorio y reservorio alterno).</i> .....	60
Tabla 12 <i>Temperaturas máximas de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.</i> .....	60
Tabla 13 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados) sin recirculación.</i> .....	64
Tabla 14 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de sistema sin recirculación en prueba a 10 grados (reservorio y reservorio alterno).</i> .....	64
Tabla 15 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de sistema sin recirculación en prueba a 45 grados (reservorio y reservorio alterno).</i> .....	64
Tabla 16 <i>Temperaturas máximas de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.</i> .....	65

Tabla 17 <i>Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados) en el sistema de calentamiento en la prueba con el digestor enchaquetado. ....</i>	70
Tabla 18 <i>Valores máximos de la prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación. ....</i>	71



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Clasificación de intercambiadores de calor.</i> .....	9
Figura 2 <i>Formas de control de temperatura en reactores no isotérmicos.</i> .....	10
Figura 3 <i>Secciones del digestor enchaquetado.</i> .....	22
Figura 4 <i>Vista satelital de localidad seleccionada.</i> .....	33
Figura 5 <i>Diagrama de las partes del prototipo.</i> .....	52
Figura 6 <i>Sistema de calentamiento del fluido.</i> .....	56
Figura 7 <i>Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (con recirculación).</i> .....	58
Figura 8 <i>Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (con recirculación).</i> .....	59
Figura 9 <i>Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (sin recirculación).</i> .....	63
Figura 10 <i>Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (sin recirculación).</i> .....	63
Figura 11 <i>Biodigestor (temperatura ambiente) día 1.</i> .....	67
Figura 12 <i>Biodigestor (temperatura ambiente) día 2.</i> .....	67
Figura 13 <i>Biodigestor a 10 grados de inclinación (con recirculación).</i> .....	69
Figura 14 <i>Biodigestor a 45 grados de inclinación (con recirculación).</i> .....	70
Figura 15 <i>Comportamiento térmico del digestor enchaquetado.</i> .....	73
Figura 16 <i>Variables de operación del digestor enchaquetado.</i> .....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Diseño en AutoCAD del digestor enchaquetado.</i> .....	85
Anexo 2 <i>Prototipo construido de digestor enchaquetado.</i> .....	86
Anexo 3 <i>Vista completa Prototipo construido de digestor enchaquetado.</i> .....	87
Anexo 4 <i>Instalación de sistema de calefacción.</i> .....	88
Anexo 5 <i>Montaje de prototipo de digestor enchaquetado.</i> .....	89
Anexo 6 <i>Sistema de agitación.</i> .....	90
Anexo 7 <i>Datos del sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (con recirculación).</i> ..	89
Anexo 8 <i>Datos del sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (sin recirculación).</i> ...	90
Anexo 9 <i>Datos del sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (con recirculación).</i> ..	91
Anexo 10 <i>Datos del sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (sin recirculación).</i> .	93
Anexo 11 <i>Datos de la prueba con biodigestor a 10 grados de inclinación del colector solar (con recirculación).</i> .....	95
Anexo 12 <i>Datos de prueba con biodigestor a 45 grados de inclinación del colector solar (con recirculación).</i> .....	98
Anexo 13 <i>Datos de puesta en marcha de biodigestor enchaquetado.</i> .....	100
Anexo 14 <i>Datos biodigestor a temperatura ambiente día 1.</i> .....	124
Anexo 15 <i>Datos biodigestor a temperatura ambiente día 2.</i> .....	126

## RESUMEN

En la presente investigación se formuló el diseño del prototipo de un sistema suplementario de calefacción, con base en energía solar, acoplado a un biodigestor a escala de laboratorio, con el fin de satisfacer el calor adecuado requerido por el proceso de digestión anaerobia en locaciones geográficas con clima subtropical como la ciudad de Quito, caracterizada principalmente por presentar clima frío. Se empleó la técnica de enchaquetado de calentamiento, conectado a un sistema de mangueras vinculadas a un colector solar plano y un reservorio de agua para generar un efecto termosifón que garantizó la recirculación del fluido de calentamiento (agua) para mantener la temperatura interna del digestor en un rango óptimo para la generación eficiente de biogás.

Durante la recopilación de datos posterior a la puesta en marcha del dispositivo se determinó como variables de control principales las temperaturas del colector solar, reservorio de agua, chaqueta de calentamiento, interior del digestor y para contraste de viabilidad del sistema se colocó un reservorio alterno ajeno al entramado interconectado de calefacción. Para maximizar la captación de radiación solar se emplearon ángulos de 10 grados y 45 grados para el colector plano.

Los resultados revelaron que el sistema de recirculación con efecto de termosifón anexo a la chaqueta de calentamiento conservó la temperatura interna del digestor en un rango de 30 grados centígrados a 39 grados centígrados, a su vez se obtuvo las dimensiones apropiadas para un digestor a escala de laboratorio con chaqueta de calentamiento [(volumen= 5.2L, diámetro= 15cm, altura= 29cm) y (volumen= 20.8L, diámetro= 30 cm, altura= 36,5 cm) respectivamente] también se dedujo que el ángulo de inclinación solar analizado mediante metodología ANOVA fue irrelevante para el aprovechamiento de la incidencia solar.

**Palabras clave:** Termosifón, chaqueta de calentamiento, colector solar, digestor anaerobio, energía solar

## ABSTRACT

At the current investigation was formulated a prototype design of a supplementary heating system, based on solar energy, attached to a laboratory-scale biodigester. In order to satisfy adequate heat conditions required by anaerobic digestion process in geographic locations with subtropical weather such as Quito, mainly characterized by cold days, the heating jacket technique was used connected to a system of hoses linked to a flat solar collector and a water reservoir, generating a thermosyphon effect that guaranteed the recirculation of heating fluid (water) to maintain internal temperature of the digester in optimal range for efficient generation of biogas.

During the data collection after the device was started up, the temperatures of the solar collector, water reservoir, heating jacket, interior of the digester were decreed as main control variables, and an alternate external reservoir was placed to contrast the viability of the system. to the interconnected heating framework. To maximize the capture of solar radiation, angles of 10 grades and 45 grades were used for the flat collector.

The results reveal that the recirculation system with thermosyphon effect attached to the heating jacket preserves the internal temperature of the digester in a range of 30 celsius degrees to 39 celsius degrees, in turn, the appropriate dimensions were obtained for a laboratory scale digester with heating jacket [(volume= 5.2 L, diameter= 15cm, height= 29cm) and (volume= 20.8 L, diameter= 30 cm, height= 36.5 cm) respectively], also that the solar inclination angle analyzed by ANOVA methodology was irrelevant for the use of solar incidence.

**Keywords:** Thermosyphon, heating jacket, solar collector, anaerobic digester, solar energy

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el ámbito de las líneas de investigación de las ciencias ambientales se encuentra el desenvolvimiento de tecnologías aplicadas a los recursos naturales, entre las cuales se desarrollan continuas investigaciones sobre el rendimiento de biomasa (materia orgánica) de desechos líquidos como las aguas residuales provenientes de la industria láctea, florícola, textil, entre otras, estas aportaciones facilitan la exploración de la mejor opción para una obtención dinamizada y potencial de energías alternativas. Acorde a cifras realizadas y presentadas por profesionales de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, el 72,58 por ciento de la energía de nuestro país es renovable, de este tanto por ciento el 1,31 por ciento de esta energía abarca la producida a partir de biomasa y el 0,13 por ciento a la energía fotovoltaica (ARCONEL, 2018).

El adecuado manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que involucran entre varias alternativas métodos como el reciclaje de estas materias orgánicas, transmutándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica adquirió un fuerte impulso con el alto costo de los abonos químicos, con la exploración de alternativas no habituales de energía, así como también, la escasez de vías de descontaminación y supresión de residuos. Según el INEC dentro de su Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos en nuestro país aproximadamente 1.256,04 toneladas diarias fueron recolectadas de forma diferenciada (orgánico e inorgánico) en 2016, de las cuales el 53% correspondían a residuos orgánicos, se determinó también que el 41,46% de los hogares a nivel nacional clasificaron los residuos, es decir, cuatro de cada diez familias ecuatorianas realizaron esta práctica. Entre los años 2010 y 2016, el porcentaje de clasificación se incrementó alrededor de 16,3 puntos porcentuales (INEC, 2016) El hábito de clasificación de desechos facilita la valorización de residuos sólidos transformándolos en recursos reutilizables, anexados

a los beneficios ambientales, la optimización económica y el consenso social dentro de un sistema práctico y sostenible.

Con base en estas premisas investigativas se propone el desarrollo de un biodigestor diseñado para operar con la intervención de otra fuente de energía renovable, igualmente estudiada, que deviene en el distintivo de este proyecto, el acoplamiento de un sistema de calentamiento alimentado de energía solar que permite el manejo de temperaturas que agilicen el proceso metabólico del biodigestor con la finalidad de compensar condiciones meteorológicas variables de la ciudad de Quito donde se efectuó su puesta en marcha.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Diseñar y construir un reactor anaerobio con sistema de calentamiento basado en energías alternativas para la producción de biogás.

### **2.2. Objetivo Específico**

- Diseñar un reactor con camisa de calentamiento que utilice agua temperada por un colector solar plano.
- Definir variables de control y operación en el reactor anaerobio con sistema de calentamiento.
- Establecer instrumentación necesaria para el reactor anaerobio y camisa de calentamiento.
- Completar la construcción, arranque y operación del reactor diseñado.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Energías renovables

Las colectividades sociales demandan servicios energéticos para satisfacer las necesidades humanas esenciales (cocción de alimentos, ambientación, transporte, alumbrado, y comunicación) y a su vez, afianzar los procesos productivos.

En el informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) se estipula que la constitución de energía renovable creció rápidamente en los últimos años, numerosos prototipos de políticas gubernamentales, diversificaciones en el costo de los combustibles fósiles, el incremento de la demanda de energía y otros factores fortalecen la utilización progresiva de las energías renovables (Edenhofer, Pichis-Madruga, & Sokona, 2011). En Ecuador con el fin de aprovisionar la demanda de energía eléctrica existen diversas centrales de generación, prevaleciendo la aplicación de energías procedentes de fuentes naturales como residuos orgánicos (biogás), sol (fotovoltaica), viento (eólica), agua (hidráulica) y biomasa. Cada año se desarrolla en el país la estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano a cargo de ARCONEL donde se detallan los valores de producción de energía bruta por tipo de energía, tabla que se encuentra a continuación (ARCONEL, 2018).

**Tabla 1**

*Tipos de Energía.*

Tipo de Energía	Tipo de Central	Energía Bruta	
		GWh	%
Renovable	Hidráulica	20.678,00	70,71
	Biomasa	382,44	1,31
	Eólica	80,26	0,27
	Biogás	45,52	0,16
	Fotovoltaica	38,08	0,13
Total Renovable		21.224,31	72,58
No Renovable	Térmica MCI	4.942,06	16,90
	Térmica Turbo vapor	1.737,93	5,94



Tipo de Energía	Tipo de Central	Energía Bruta	
		GWh	%
	Térmica Turbo gas	1.339,29	4,58
Total No Renovable		8.019,28	27,42
Total general		29.243,59	100,00

Nota: Desglose porcentual de generación eléctrica en el Ecuador durante el año 2018. Tomado de *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano*, por ARCONEL, 2018.

### 3.2. Energía solar térmica

La energía solar se traslada por el medio como radiación electromagnética, parcialmente esta energía que llega a la atmósfera es absorbida por el suelo, la atmósfera y reflejada de forma directa al espacio desde la superficie terrestre. Es decir, que alrededor de la mitad de la radiación solar que alcanza el suelo puede ser empleada para generar energía (Schallenberg, y otros, 2008).

Existen cuatro vías de acceso de la radiación solar a la tierra:

#### 3.2.1. Radiación directa:

Es la clase de radiación dominante en un día despejado, llega de forma directa desde el Sol sin haberse descominado de dirección, es decir sin obstáculos en su camino.

#### 3.2.2. Radiación difusa:

Cuando el polvo, nubes, contaminantes, entre otros inciden en la llegada de la radiación, se altera su dirección de contacto con la superficie, esta clase de radiación se percibe en un día nublado.

#### 3.2.3. Radiación reflejada o albedo:

La radiación reflejada por la superficie terrestre; magnificada en zonas con nieve, agua o superficies blancas.

#### **3.2.4. La radiación global:**

Resultado del compendio entre la radiación difusa y la radiación directa.

Una vez que esta energía accede a la superficie terrestre, existen diversas formas de maximizar su aprovechamiento, como lo demuestra el trabajo experimental de evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar realizado en Cuenca-Ecuador, para maximizar la captación de irradiación solar, se emplea un ángulo de inclinación  $10^\circ$  en módulos fotovoltaicos para preservar los materiales y facilitar el mantenimiento de los mismos, esto se aplica en lugares donde los rayos solares chocan con la superficie terrestre, de forma perpendicular en el verano y de forma oblicua cuando llega el invierno (LABARTA, 2012), como sucede en Ecuador que se encuentra atravesado por la línea ecuatorial (ALVAREZ, 2017) acorde al posicionamiento solar durante las 24 horas del día según Ortega cada hora que transcurre corresponde a un giro del sol de  $15^\circ$ , si se considera este antecedente el fabricante del colector solar puede disponer una variación de inclinación del dispositivo de absorción de energía solar en intervalos de  $15^\circ$  (ORTEGA & Cañadas, 2015)

Entre los principales usos de la energía solar está su aprovechamiento como fuente de calor conocida como energía solar térmica (accionada por baja y media temperatura) y electricidad (accionado por alta temperatura y energía solar fotovoltaica).

### **3.3. Funcionamiento de la energía solar térmica**

El mecanismo de marcha de las estructuras solares es simple: la radiación solar se absorbe y el calor se traslada a un fluido (habitualmente aire o agua). Con el fin de explotar la energía solar térmica se utilizan captadores solares, conocidos también como colectores o placas solares. En estos colectores solares generalmente figuran los siguientes componentes:

revestimiento translúcido (vidrio), zona absorbente color negra de circulación del fluido (la mayoría de los casos aire y agua) y aislante térmico (Schallenberg, y otros, 2008).

Con base en el efecto invernadero, se explica el funcionamiento del colector, la onda corta emitida por la radiación solar incurre en la cobertura translúcida que al ser atravesada pasa a ser absorbida por la zona de circulación del fluido que se calienta.

Según la temperatura final adquirida por el fluido al salir, las infraestructuras para cada colector se fraccionan en temperatura baja (temperatura menor o igual a 90 grados centígrados), media (temperatura igual a 80 grados centígrados hasta 250 grados centígrados) y alta (temperatura mayor o igual a 250 grados centígrados) (Schallenberg, y otros, 2008). El fluido calentado puede trabajar bajo un mecanismo de distribución de calor del colector al objeto, la transmisión de ese calor a un objeto en cuestión se puede efectuar mediante el efecto termosifón a través de un sistema de recirculación.

### **3.4. Efecto termosifón**

La temperatura baja se emplea para la producción de agua caliente de uso doméstico que no supere los 90°C, para esta aplicación específica se utiliza colectores solares planos. La instalación de estos dispositivos se puede ejercer en dos modalidades, en sistemas de circulación forzada (requiere una bomba con alimentación externa de energía) y en sistemas de termosifón, estos sistemas se basan en la gravedad, y la diferencia de densidad entre el agua fría y caliente que crea una convección natural, su propósito es simplificar el bombeo de líquido y / o transferencia de calor, con el fin de evitar el costo y la complejidad de una bomba de líquido convencional (Lahoubi, Pennel, & Rousselle, 2008).

### **3.5. Transferencia de calor**

La transferencia de calor está ligada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor, este es un proceso que va acompañado de un cambio de entropía hasta lograr mantener en algún momento un equilibrio en todo el sistema (Kern, 1999).

La transferencia de calor actúa mediante 3 mecanismos básicos como lo plantea (Domingo, 2011).

#### **3.5.1. Conducción:**

Este mecanismo indica una transmisión de energía calórica mediante contacto directo entre dos cuerpos a distintas temperaturas. Este proceso se da lugar mediante choque o acoplamiento de las moléculas del sistema.

#### **3.5.2. Convección:**

Este mecanismo indica una transmisión de energía calorífica mediante el movimiento físico de moléculas “calientes” desde el punto de mayor temperatura al de menor temperatura, lo que establece una recirculación molecular.

#### **3.5.3. Radiación:**

La energía calórica en este mecanismo se transfiere mediante radiación electromagnética, tales radiaciones son emitidas por los cuerpos al encontrarse a una cierta temperatura, que se propagan en forma de ondas y siendo absorbidas por un cuerpo externo, aumentando su temperatura.

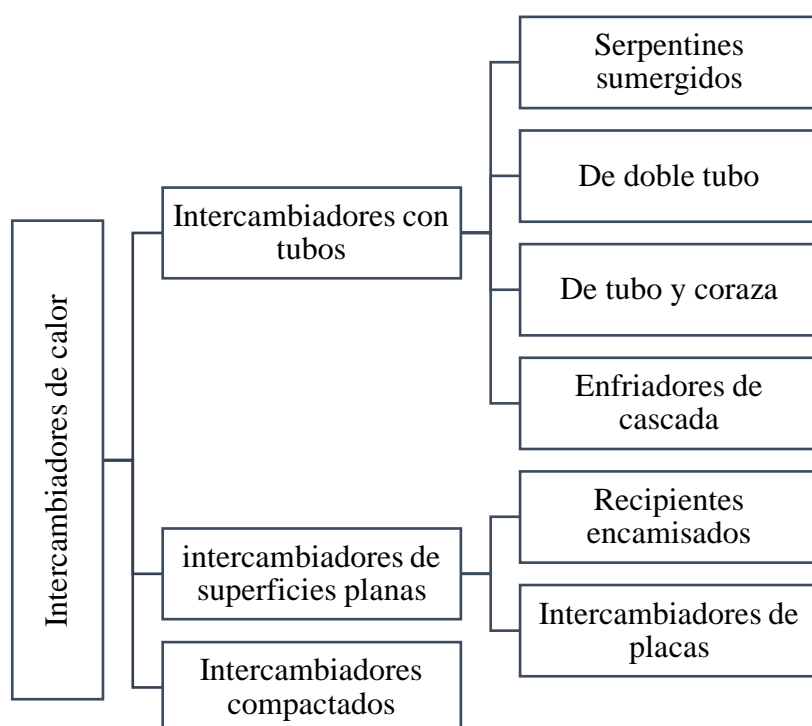
### 3.6. Sistema de intercambio de calor

Los sistemas de intercambio de calor son dispositivos proyectados para transferir energía térmica desde un punto inicial (fuente de calor o fluido), a un cuerpo receptor con temperatura menor. La transferencia puede efectuarse mediante contacto directo de los fluidos (conducción) o cuando se encuentran separados por una pared de forma indirecta (convección) (Rodríguez, 2016).

A continuación, se presenta una clasificación general de los intercambiadores de calor:

**Figura 1**

*Clasificación de intercambiadores de calor.*



Nota: Esquema de los tipos de intercambiadores de calor. Tomado de *Optimización de un sistema para precalentamiento de agua para coberturas blanca y oscura*, por Rodríguez, 2016.

### 3.7. Recipientes encamisados

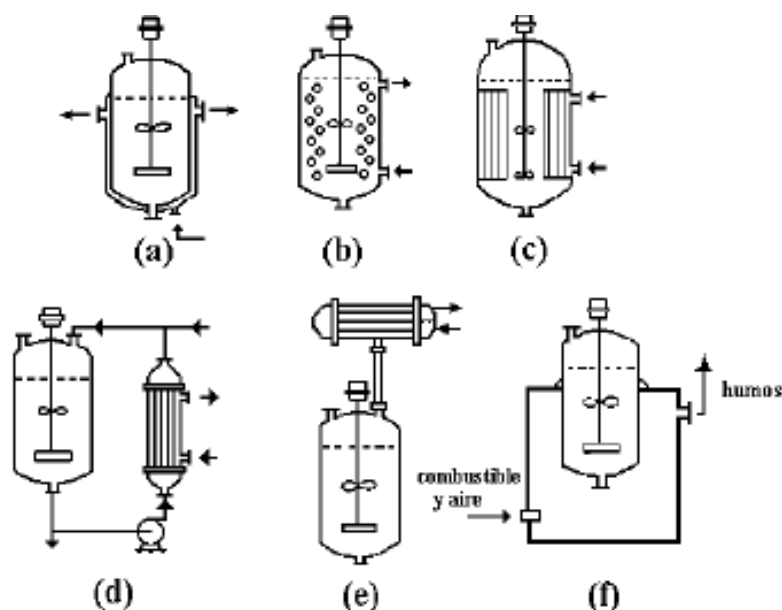
Son intercambiadores de calor de aplicación sencilla con un diseño que permite controlar la temperatura interna mediante la circulación de un fluido que realiza un intercambio

uniforme de calor entre el fluido y las paredes de la camisa o dispositivo contenedor. (Cuevas, 2012)

El sistema de calentamiento comprende la aplicación de una camisa o chaqueta de calentamiento, que contiene un fluido calefactor (agua). En la ilustración 1 se aprecian las formas de controlar la temperatura en reactores con distintos intercambiadores de calor:

**Figura 2**

*Formas de control de temperatura en reactores no isotérmicos.*



Nota: (a) enchaquetado, (b) serpentín interno, (c) tubos internos, (d) intercambiador de calor externo, (e) condensador externo con reflujo, (f) calentador a fuego directo. Tomado de *Reactores ideales no isotérmicos*, por Cuevas, 2012.

### 3.8. Selección de materiales

En el proceso de selección de materiales apropiados para la construcción del digestor se descartó una serie de insumos que carecían de tolerancia a la corrosividad, bajo desgaste por la humedad e inercia térmica alta. El material que predominó por cumplir con los requerimientos funcionales fue el acero, concretamente el acero inoxidable 304, un material de uso comercial que promete mayor estabilidad al momento de emplear condiciones de acidez / humedad alta a diferencia del acero común, hierro, plomo, cobre (Megyesy, 1992). El uso de acero inoxidable

304 representa un ahorro considerable en mantenimiento del equipo (inspección de fugas), a su vez supone un desarrollo normal de las acciones biológicas.

### **3.9. Balance de energía**

Sobre la base de la “Ley de conservación de la energía” (primera ley de la termodinámica), es posible aplicar una derivación matemática que permita determinar las cantidades de energía transmitidas y almacenadas en un sistema, y de esta forma corroborar si un sistema que se fundamenta en el intercambio de calor eficiente.

Un mecanismo enchaquetado se diseña con la intención de mantener resguardado el calor dentro de un sistema, en este caso un biodigestor, la función principal de la chaqueta de calentamiento es transmitir energía en forma de calor al interior del biodigestor, con el fin de identificar la masa necesaria de líquido calefactor (agua) a una determinada temperatura, se propuso el cálculo del balance de energía del sistema calefactor.

Se inició con la aplicación de una ecuación de energía donde la energía de entrada es igual a la energía de salida, el esquema de transmisión de calor consta de calor generado por la pared interna y pared externa del digestor, calor requerido por la biomasa, calor de convección y el calor acumulado en el vacío de la chaqueta o aislamiento. La energía presente en el proceso es igual al calor que ingresa al sistema, este balance se puntualizó en la siguiente igualdad: se especifica mediante la ecuación de entradas y salidas:

#### **Ecuación 1**

$$Q_{entrada} = Q_{salida}$$

Se partió de la igualdad de entrada y salida para sustituir la fórmula equivalente a calor, que hizo posible la identificación de la masa requerida y de esta forma se obtuvo el volumen de agua necesaria para satisfacer los requerimientos del proceso.

#### **Ecuación 2**

$$Q = mC_p \Delta T$$

### Simbología

Masa de la sustancia: m

Capacidad térmica específica: Cp

Variación de temperatura:  $T_f - T_i = \Delta T$

Calor: Q

En cuanto al calor requerido por el sistema dentro de la camisa, para transmitir calor a lo largo de un periodo establecido de tiempo y mantener una temperatura específica se empleó la fórmula del calor cedido y cada uno de los calores que lo componen es posible realizar este proceso (Palacios , 2011).

### Ecuación 3

$$Q_{cedido} = Q_{biomasa} + Q_{pared\ int} + Q_{aislamiento} + Q_{pared\ ext} + Q_{convec\ ext}$$

#### 3.9.1. Cálculo del calor de la biomasa

Mediante la fórmula del calor de biomasa, se identificó la energía necesaria para aumentar la temperatura de la biomasa en digestión, durante un periodo establecido de tiempo.

### Ecuación 4

$$Q_{biomasa} = m * C_p * \frac{T_f - T_i}{t}$$

### Simbología

Calor de biomasa =  $Q_{biomasa}$  (Kw)

Peso de la biomasa = m (Kg)

Calor específico de la biomasa=  $C_p \left( \frac{Kj}{Kg\ ^\circ C} \right)$

Variación de temperatura:  $T_f - T_i = \Delta T(^{\circ}C)$



Tiempo: t (seg)

### 3.9.2. *Cálculo del calor de la pared interna*

Parte del calor transmitido es cedido a través de una pared que divide la zona de biomasa y la camisa de calentamiento, este calor cedido se estableció en función de los datos teóricos obtenidos para el material seleccionado (acero 304) obtenidos de (McCabe , Smith, & Harriott), mediante la siguiente fórmula:

#### **Ecuación 5**

$$Q_{pared\ int} = \rho_{acero} * Cp_{acero} * V_{zona\ de\ biomasa} \frac{Tf - Ti}{t}$$

#### **Simbología**

Calor de la pared interna =  $Q_{int}$  (Kw)

Densidad del acero 304 =  $\rho_{acero} \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$

Calor específico del acero =  $Cp_{acero} \left( \frac{Kj}{Kg\ ^\circ C} \right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $V_{zona\ de\ biomasa} (m^3)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T (^\circ C)$

Tiempo: t (seg)

### 3.9.3. *Cálculo del calor del aislamiento*

Con la intención de lograr una mínima pérdida de calor dentro del sistema, es necesario aplicar un aislante térmico que se adapte a la forma del dispositivo principal (digestor), es decir que tenga una forma cilíndrica. El calor que atraviesa el aislante térmico es calculado mediante la siguiente fórmula (Sevilla, 2001):

#### **Ecuación 6**

$$Q_{aislamiento} = \frac{K_{aislamiento} * 2\pi l * (Tf - Ti)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

### Simbología

Calor del aislamiento =  $Q_{aislamiento}$  (Kw)

Coeficiente de conductividad térmica=  $K_{aislamiento} \left(\frac{W}{m * ^\circ C}\right)$

Longitud del tanque =  $l(m)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T(^{\circ}C)$

Tiempo:  $t$  (seg)

Radio interno=  $r_1 (cm)$

Radio externo=  $r_2 (cm)$

#### 3.9.4. Cálculo del calor de la pared externa

Es necesario identificar la cantidad de calor que emitirá la pared externa de la camisa, por lo que se propone la siguiente fórmula (McCabe , Smith, & Harriott):

#### Ecuación 7

$$Q_{pared\ ext} = \rho_{acero} * Cp_{acero} * V_{zona\ de\ biomasa} \frac{Tf - Ti}{t}$$

### Simbología

Calor de la pared externa =  $Q_{ext}$  (Kw)

Densidad del acero =  $\rho_{acero} \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

Calor específico del acero=  $Cp_{acero} \left(\frac{Kj}{Kg ^\circ C}\right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $V_{zona\ de\ biomasa} (m^3)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T(^{\circ}C)$

Tiempo: t (seg)

### 3.9.5. Cálculo del calor mediante convección

Es importante resaltar que el medio interviene a cierto grado con el proceso. Debido a esto es necesario identificar el intercambio calórico entre el reactor y el medio ambiente mediante la siguiente fórmula (McCabe , Smith, & Harriott):

#### Ecuación 8

$$Q_{convec\ ext} = h_{aire} * A_{Transf} * Tf - T$$

#### Simbología

Calor por convección al exterior=  $Q_{convec\ ext}$  (Kw)

Coeficiente de transferencia de calor del aire=  $h_{aire} \left( \frac{W}{m^2^{\circ}C} \right)$

Área de trasferencia de calor =  $A_{Transf} (m^2)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T(^{\circ}C)$

Tiempo: t (seg)

### 3.10. Reactores biológicos

El contraste principal entre los sistemas en condiciones aerobias y anaerobias de digestión es que estos últimos deben ser cerrados para excluir el oxígeno del sistema, puesto que este elemento interfiere con el metabolismo anaeróbico. Los gases generados por la anaerobiosis hacen necesaria la presencia de un sistema de ventilación o captación del dióxido de carbono y metano emanados. Por otro lado, en los sistemas aerobios es infalible el uso de aireadores para suministrar oxígeno al sistema (Nora et al., 2014). Entre los sustratos necesarios dentro del proceso está el oxígeno, cuya solubilidad en el agua está en torno de 10 mg/L en condiciones normales esto provoca que el gradiente de concentración sea demasiado bajo y por

tanto el intercambio de moles de oxígeno del aire que ingresa al agua suspendida sea directamente proporcional al mismo (Nora, Bevilacqua, & Contreras, 2014).

### **3.10.1. Tipos de reactores**

#### **3.10.1.1. Reactores batch.**

Introducir agua residual para tratamiento hasta completar el volumen de un reactor y mantenerlo el tiempo prudencial hasta finiquitar el proceso es lo que se conoce como un sistema discontinuo o batch. El mérito de este sistema es que permite seguimiento constante del progreso y por tanto una facilidad de control de los tiempos de residencia necesarios para culminar el tratamiento de saneamiento dentro del reactor y derivar a su respectiva descarga. Dado que tratan caudales pequeños y que facilitan un mayor tiempo de retención para el tratamiento de sólidos, estos sistemas discontinuos demandan equipamiento mínimo (Nora et al., 2014). Se considera impráctica la instalación de un sistema batch para su puesta en marcha a gran escala, para estas magnitudes es óptima la implementación de sistemas operados de forma continua donde existe una entrada y salida de agua residual y sedimentos constantes. (Nora et al., 2014)

#### **3.10.1.2. Reactores mezcla completa y flujo pistón**

Hablar de mezcla completa implica la introducción de una mixtura uniforme, producto del uso de agitadores en un procedimiento maniobrado como flujo pistón, el suministro de ingreso atraviesa el reactor sin tener contacto con el contenido depositado previamente o después de su alimentación, esta propiedad del sistema garantiza que el fluido cambie su composición por estaciones a lo largo de su paso por el reactor. (Nora et al., 2014)

Flujo pistón y mezcla completa son empleados para puntualizar el comportamiento de algunos sistemas aplicados en el tratamiento de aguas residuales, como, por ejemplo, los lodos

activados, son altamente eficientes ya que presentan una descontaminación proporcional entre la cantidad de reacciones biológicas que se suscitan y la concentración del contaminante a tratar. El éxito de la proporcionalidad de descontaminación se atribuye a la falta de contacto entre el efluente y el influente, en tanto que en un reactor mezcla completa no sucede así y por ende la degradación del contaminante decrece por unidad de volumen en el reactor (Nora et al., 2014).

Una vez comprendido el contexto de los tipos de reactores existe una serie de parámetros que garantizan un producto eficiente de digestión, entre estos están temperatura y pH, condiciones que permiten que se genere biogás en el caso de los reactores que trabajan en condiciones anaerobias,

### ***3.10.2. Condiciones óptimas de funcionamiento de un reactor en condiciones anaerobias.***

Los microorganismos anaerobios se pueden desarrollar entre los 4°C y los 80°C de temperatura, estos se clasifican en tres grandes grupos dependiendo del rango adecuado para su crecimiento, psicrófilos, mesófilos y termófilos, en cuanto a los microorganismos mesófilos el intervalo de temperatura óptimo para la producción de biogás es de 25°C a 35°C y abarca una temperatura máxima de 45°C (FAO, 2011). Estos valores de temperatura se establecieron con en el calor medido en reacciones biológicas anaerobias, Salamanca.J realizó la puesta en marcha de un digestor piloto a escala de laboratorio y como resultados de la operación de este concluyó que el calor producido de forma independiente por la reacción de degradación de la materia orgánica se perdía, registrando una temperatura promedio de 28°C sin contar con ningún sistema suplementario de calor (Salamanca Tamayo, 2009), la importancia de la temperatura radica en la velocidad de reacción con que se lleva a cabo cualquier proceso biológico, a su vez para un adecuado metabolismo, la actividad enzimática depende del potencial hidrógeno que influye en la actividad bacteriana, este pH, se regula mediante la adición de nutrientes (Acosta Lorenzo & Obaya Abreu, 2005) .

Las bacterias acetógenas y metanógenas son muy sensibles al pH, por lo que habitualmente debe mantenerse entre 6,6 y 7,6; con un rango óptimo entre 6,8 y 7,2 (García-Caro Andreu, 2013). El valor del pH establece la obtención integral de biogás y su constitución, dado que, por debajo de 6,2, la acidez del medio impide el dinamismo de las bacterias metanogénicas, y con valores de pH advertidos entre 4,5 y 5,0, la inhibición perturba asimismo a las bacterias fermentativas.

### 3.11. Balance de masas

El balance de masas es una herramienta que permite cuantificar en unidades de masa las entradas y salidas de un proceso o una sección de este, esto es posible mediante la aplicación de la ley de conservación de la masa de forma aritmética, instaurando diferentes relaciones matemáticas (Deiana, Granados, & Sardella, 2018).

Para un proceso discontinuo de digestión anaerobia el análisis del balance de masa puede trabajarse según (Mihelcic & Zimmerman, 2012) mediante un balance general aplicado entre la carga y salidas del proceso de digestión a partir de la ecuación general de balance:

#### Ecuación 9

$$\frac{dm}{dt} = masa_{entrada} - masa_{salida} + masa_{reacciona}$$

La que al aplicarse a un reactor batch elimina los términos de entrada y salida y se reduce a:

$$\frac{dm}{dt} = masa_{reacciona}$$

Y aunque dentro del proceso ocurren diferentes reacciones de degradación para la formación del biogás se puede evaluar la masa que reacciona a través del consumo de DBO. La DBO sigue una cinética de primer orden (METCALF & EDDY, 1995), y su ecuación es:

#### Ecuación 10

$$r_{DBO} = -k[DBO]$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

**Ecuación 11**

$$\frac{dm}{dt} = -k[DBO]$$

A partir de la ecuación (11) se puede determinar el consumo de DBO, aunque son necesarios los valores de la constante y límites de la integral, valores que deberían determinarse experimentalmente.

A partir del conocimiento de los valores másicos de los elementos que intervienen en la reacción bioquímica de producción de biogás, los valores generales de sus relaciones másicos se hallarían mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 12**

$$A = B + C$$

Simbología

Biomasa de entrada= A

Subproducto sólido o líquido de la digestión= B

Biogas = C

### **3.12. Variables de control**

Las variables de control son aquellas que el investigador selecciona con el objetivo de monitorear la influencia de una variable dependiente sobre una variable independiente (Buendía, Colás , & Hernández , 1998). Los puntos clave en un proceso anaerobio son fielmente relacionados con temperatura, pH, agitación (Novillo , 2010), la intención en estos procesos naturales es mantener condiciones óptimas de desarrollo bacteriano, por lo que es necesario mantener un control adecuado de estos factores.

Para la elaboración del diseño y construcción del biodigestor encamisado, las condiciones para su óptimo funcionamiento están presentes en (Rivera & Suárez, 2010), (Ortiz, Rodriguez , Cajiao, & Maldonado , 2016) y (Chiriboga, 2010). Las principales variables a controlar en un proceso anaerobio son:

**Tabla 2**

*Variables para un proceso metanogénico.*

Variable	Valor Óptimo	Unidad
Temperatura	36	°C
Tiempo óptimo de cultivo	12	H
pH óptimo de cultivo	7 ±1	pH
Velocidad de agitación	150	Rpm
Conductividad térmica del Acero 304	50,2	$\frac{W}{m K}$
Capacidad calorífica del agua	4,178	$\frac{kJ}{kg °C}$

Nota: Tomado de *Diseño y construcción de un biorreactor batch aerobio para cultivo de bacterias biodegradadoras de petróleo*, por Rivera y Suárez, 2010.

### 3.13. Diseño de digestor enchaquetado

Un digestor enchaquetado es una herramienta que permite generar una digestión en óptimas condiciones. Su adecuado diseño es pieza clave para un proceso íntegro y exitoso, por lo que cada componente presenta relaciones que permiten un dimensionamiento lógico, simétrico y en proporción con el proceso a efectuarse.

#### 3.13.1. Diseño de altura del biorreactor

La altura que posee la zona de digestión es hallada mediante la fórmula del volumen de un cilindro. Mediante una sustitución de valores referente a volumen y diámetro, es posible hallar el valor adecuado mediante la fórmula despejada de la altura a continuación:

#### Ecuación 13



$$h = \frac{V}{\pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2}$$

### **Simbología**

Volumen: V

Diámetro de la zona de biomasa:  $\emptyset$

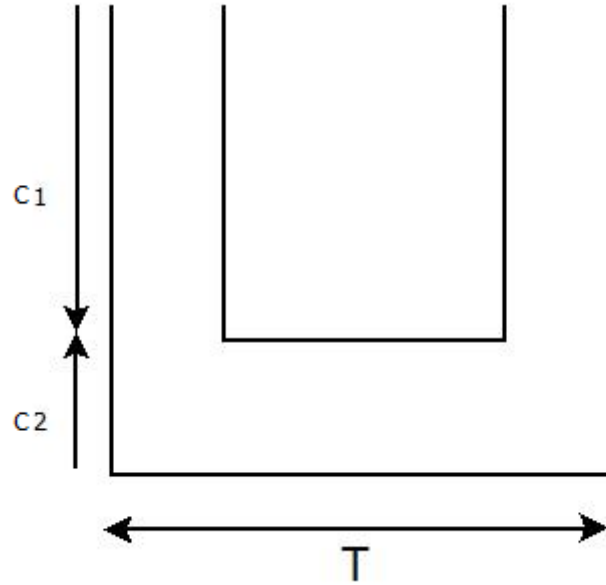
#### **3.13.2. Diseño chaqueta de calentamiento**

Para el cálculo del volumen de la chaqueta de calentamiento se optó por aplicar un modelo de recipiente encamisado sin serpentín (Armijos & Morales, 2012). Este modelo permite un proceso sencillo y factible para una óptima transferencia de calor. Con la intención de proporcionar una película de agua simétrica y equivalente alrededor de la zona de digestión, es necesario mantener una distancia equivalente entre el fondo del digestor y el fondo de la chaqueta de calentamiento.

El volumen de la camisa de calentamiento, está compuesto por dos segmentos como se aprecia en la figura 3, que hacen referencia a un cilindro hueco y a un cilindro normal como un cuerpo sólido en conjunto. El valor teórico del volumen es referente a la suma de estos dos segmentos, reflejándose los valores en la fórmula (14):

**Figura 3**

*Secciones del digestor enchaquetado.*



Nota: Diagramas de secciones volumétricas del digestor enchaquetado.

### **Ecuaciones complementarias**

#### **Ecuación primer segmento**

$$V_1 = V_a + V_{c_1}$$

$$V_{c_1} = V_1 - V_a$$

$$V_{c_1} = \left[ \pi * \left( \frac{\phi_t}{2} \right)^2 * h_a \right] - V_a$$

#### **Ecuación segundo segmento**

$$V_{c_2} = \pi * \left( \frac{\phi_t}{2} \right)^2 * h_{c_2}$$

#### **Ecuación 14**

$$V_t = \left\{ \left[ \pi * \left( \frac{\phi_t}{2} \right)^2 * h_a \right] - V_a \right\} + \left[ \pi * \left( \frac{\phi_t}{2} \right)^2 * h_{c_2} \right]$$

### **Simbología**

Volumen zona de biomasa =  $V_a$  (L)

Altura zona de biomasa =  $h_{c_1}$  (cm)

Altura camisa sección 2 =  $h_{c_2}$  (cm)

Altura total =  $h_a$  (cm) + 7,5 (cm)

Diámetro =  $\phi_a$  (cm)

Diámetro total =  $(\phi_t) = [\phi_a + 2(7,5)]$ (cm)

#### **3.13.3. Diseño del mezclador**

El mezclador dentro de un proceso unitario, tiene como objetivo “Producir una corriente de alta velocidad, de esta manera el fluido se mezcla con rapidez en la región próxima al impulsor, debido a la intensa turbulencia” (McCabe , Smith, & Harriott), con la intención de distribuir de manera adecuada la biomasa y el calor cedido por la chaqueta. Para un diseño adecuado del mezclador existen relaciones que permiten hallar valores precisos para el diseño expuestos en (McCabe , Smith, & Harriott) y (Rivera & Suárez, 2010).

#### **3.13.4. Diámetro del rodete**

El diámetro adecuado del rodete es equivalente a la mitad de la zona de biomasa, por lo que obtenemos lo siguiente:

#### **Ecuación 15**

$$\phi_r = \frac{1}{2} * \phi$$

### **Simbología**

Diámetro del rodete:  $\phi_r$

Diámetro del área de biomasa=  $\emptyset$

### **3.13.5. Espacio entre el rodete y la base del digestor**

Para el diseño del espacio que se encuentra entre el rodete y el fondo del digestor, se consideró que este espacio equivale a 1/3 del diámetro del tanque.

#### **Ecuación 16**

$$E_r = \frac{1}{3} * \emptyset$$

#### **Simbología**

Espacio entre el rodete y la base del digestor:  $E_r$

Diámetro del área de biomasa=  $\emptyset$

### **3.13.6. Longitud del eje**

La longitud del eje es resultado de la diferencia del espacio entre el rodete y la base del digestor ( $E_r$ ), y la altura del digestor ( $h$ ).

#### **Ecuación 17**

$$L_r = h - E_r$$

#### **Simbología**

Longitud del eje:  $L_r$

Altura del digestor =  $h$

### **3.13.7. Cálculo del alto y largo de la paleta**

Para obtener la altura donde va a ubicarse la paleta respecto a la base del digestor, se toma en cuenta una relación de 1 a 5 con el diámetro del rodete, adicional a eso la relación para el largo de la paleta es 1 a 4 como es presentado a continuación:

#### **Ecuación 18**

$$h_p = \frac{1}{5} * \phi_r$$

#### **Ecuación 19**

$$L_p = \frac{1}{4} * \phi_r$$

#### **Simbología**

Altura entre base del digestor y locación de las paletas:  $h_p$

Largo de la paleta=  $L_p$

### **3.13.8. Número de aspas**

Las aspas son utilizadas para generar un movimiento de flujo constante dentro del digestor con régimen de transición / turbulento o laminar / transición, necesario para facilitar una adecuada transferencia de calor en un flujo o biomasa de baja viscosidad (Uribe, 2013), el número de aspas se estableció por sugerencia del fabricante.

### **3.13.9. Cálculo de potencia del mezclador**

Para lograr la mezcla idónea y permitir una transferencia de calor equitativa, es necesario mantener en movimiento el flujo dentro del digestor, dicho movimiento tendrá el objetivo de evitar que se generen zonas muertas o zonas sin movimiento, evitando así la formación de gradientes de temperatura en el digestor que podrían influir en el rendimiento del equipo. Las

propiedades aplicables en el cálculo de la potencia están relacionadas con valores de densidad y viscosidad.

Las variables necesarias se calculan mediante números adimensionales como son el número de Reynolds y el número de potencia que se reflejan en las siguientes relaciones

#### 3.13.9.1. Número de Reynolds

##### Ecuación 20

$$Re = \frac{\phi_r^2 * N * \delta}{\mu}$$

##### Simbología

Número de Reynolds = ***Re***

Diámetro rodete =  $\phi_r$  (m)

Velocidad de rotación = N ( rps)

Densidad del flujo=  $\delta \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

Viscosidad =  $\mu \left( \frac{kg}{m*s} \right)$

#### 3.13.9.2. Cálculo del número de potencia

##### Ecuación 21

$$P = K_L * N^2 * \phi_r^3 * \mu$$

##### Simbología

Diámetro rodete =  $\phi_r$  (m)

Velocidad de rotación = N ( rps)

$$\text{Viscosidad} = \mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$$

$$\text{Constante} = K_L$$

### 3.14. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

La intención es aplicar una chaqueta de calentamiento, como aislante térmico en la capa externa del prototipo del digestor enfocada en mantener el calor dentro de la chaqueta de calentamiento y de los fluidos que contiene (biomasa y fluido de la camisa), la forma de comprender cómo se trasfiere calor dentro del equipo es caracterizarlo mediante números adimensionales o coeficientes de transferencia de calor, dentro del recipiente con sistema de mezcla / agitación y su interacción con cada una de las paredes que componen el sistema. .

Cuando se trata de fluidos acuosos sin agitación se puede asumir teóricamente los siguientes valores: “coeficiente adimensional de película representado por h igual a h= 30 para  $\Delta T = 10^\circ\text{F}$  o para h=150 un  $\Delta T = 100^\circ\text{F}$  “ (Palacios , 2011). Para identificar el coeficiente de transferencia de calor global, el cual puede variar según la mezcla o agitación, se toma en cuenta de dónde sale el calor y qué cuerpo lo recibe, en este caso la relación se maneja de agua a agua con un valor teórico de “ $60 \frac{Btu}{hr \cdot pie^2}$ ” (Palacios , 2011)

Es necesario identificar estos coeficientes de transferencia de calor, para ello la forma general de lograr dichos valores teóricos es aplicar la fórmula del número de Nusselt, y número de Prandtl (McCabe , Smith, & Harriott), que se da mediante las siguientes fórmulas:

#### Simbología

$$\text{Número de Nusselt} = Nu$$

$$\text{Coeficiente individual de transferencia de calor dentro del tanque} = h_i \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

Diámetro interno del tanque =  $\emptyset$  (m)

Conductividad térmica del fluido =  $k \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$

Numero de Reynolds = Re

Diámetro del agitador = L

Densidad del fluido =  $\delta \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

Viscosidad =  $\mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$

Velocidad de rotación = N ( rps)

Numero de Prandtl = Pr

Calor específico = Cp (vaxasoftware )

Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared =  $\mu_p \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$

Constantes = a, b, m

#### **Ecuación 22**

$$Nu = \frac{h_i * \emptyset}{k} = a * Re^b * Pr^{\left(\frac{1}{3}\right)} \left( \frac{\mu}{\mu_p} \right)^m$$

#### **Ecuación 23**

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

Después de haber descrito las ecuaciones que facilitaron la obtención de parámetros de diseño, para determinar los valores finales es pertinente aclarar que ciertos valores de constantes son referidos bibliográficamente. A continuación, se presentan las constantes útiles para el cálculo del número de Nusselt (Palacios , 2011).



**Tabla 3***Constantes en función al tipo de agitación.*

Tipo de agitador	a	b	m	Re
	0,36	0,67	0,14	$\geq 4000$
Paleta plana	0,415	0,67	0,14	$\geq 20$ y $\geq 4000$
Turbina de aspas	0,68	0,67	0,24	80 – 200
Turbina de aspas planas o disco	0,54	0,67	0,14	$< 400$
	0,74	0,67	0,14	$> 400$
Propela $Pr^{0,25}$	0,54	0,67	0,14	$2 \cdot 10^3$
Ancla ( tipo mezclador )	1	0,67	0,18	30 – 300
	0,38	0,67	0,18	$300 - 4 \cdot 10^4$
Ancla ( tipo mezclador )	0,55	0,67	0,14	4000 – 37000

Nota: Tomado de *Evaluación y adecuación de un tanque con agitador y chaqueta de vapor de 0,9 m<sup>3</sup> para la pasteurización de 880 Kg de pulpa de fruta*, por Palacios, 2011.

Es necesario rectificar los valores expuestos para el agua y las soluciones cuya viscosidad no varía notablemente, referente a cambios abruptos de temperatura, la relación entre la viscosidad de la biomasa y la viscosidad del fluido a la temperatura de la pared es igual a uno.

### 3.15. Tiempo de retención

El tiempo de retención dentro de un proceso, describe el espacio temporal en donde se va a efectuar una reacción hasta que se haya alcanzado el equilibrio del proceso. Para una reacción anaerobia metanogénica, se describe un tiempo de retención de 2 a 20 días, las bacterias metanogénicas presentan un crecimiento muy lento y requieren un tiempo de retención celular prolongado para el adecuado crecimiento bacteriano (Romero, 2005). Hay dos componentes clave para determinar el tiempo de retención, estos son el tipo de sustrato y la temperatura de operación , a mayor temperatura menor tiempo de retención, sin embargo las temperaturas no pueden tener cambios bruscos ya que se pueden desnaturalizar las proteínas que intervienen en el proceso de digestión anaerobia (Salamanca Tamayo, 2009).,

### **3.16. Estudio de sostenibilidad**

La sostenibilidad de un proyecto envuelve diferentes aspectos tales como lo ambiental, tecnológico, institucional, social-cultural y financiero, con el fin de prolongar a las labores de puesta en marcha y que estas no perturben el desarrollo futuro de la investigación. La propuesta debe ser objetiva en términos de trascendencia (temática, capacidades, capitales y tiempo), con la expectativa de que el mayor impacto posible sea alcanzado.

La integración de cada elemento que se presenta en un estudio de sostenibilidad busca evitar y corregir decisiones operacionales, estructurales e institucionales antes, durante y después de puesto en marcha el proyecto. Al tratarse del diseño de un dispositivo y su fabricación, el estudio de sostenibilidad busca justificar el aporte académico que se adjudicará a las futuras investigaciones que puedan hacer uso del prototipo, la optimización de tiempo de ejecución y la viabilidad de ampliar la capacidad investigativa de las instalaciones donde se posicione el producto de la presente investigación.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Materiales

A continuación, se presentan los materiales, insumos y recursos utilizados en la construcción y prueba del digestor enchaquetado:

#### 4.1.1. Materias primas:

- Agua potable
- Residuos de industria láctea
- Estiércol bovino

#### 4.1.2. Materiales e Insumos:

**Tabla 4**

*Lista de implementos.*

	IMPLEMENTOS	UBICACIÓN
REACTOR ANAEROBIO ENCHAJETADO	Válvula roscable de bola de acero inoxidable, ½ “	Sistema interconectado de mangueras entre colector solar, reservorio y reactor
	Conexión T PVC, ½ “	
	Acoples para manguera PVC, ½ “	
	Abrazadera metálica, ½ “	
	Mangueras plásticas, ½ “	
	Neplos PVC, ½ “	Sistema interconectado de mangueras entre colector solar y reactor
	Uniones PVC, ½ “	
	Conector racor recto rosca hembra, ¼ “	
	Mangueras para gas, ¼ “	
	Empaques	
	Agitador con motor electrónico 24V DC	
	Potenciometro	Reactor
	Manómetro, 0-90 psi	
	Plancha de acero inoxidable 304	
	Termocupla	
	Sensor de pH shield 1.1	
COLECTOR	Termómetro digital	Sistema interconectado
	Pantalla LCD	
	Mangueras plásticas, ½ “	

	IMPLEMENTOS	UBICACIÓN
SOLAR	Abrazadera metálica, ½ “	de mangueras entre colector solar, reservorio y reactor
	Acoples para manguera PVC, ½ “	
	Conexión T PVC, ½ “	
	Válvula roscable de bola PVC, ½ “	
	Uniones PVC, ½ “	Sistema interconectado de mangueras entre colector solar y reactor
	Neplos PVC, ½ “	
	Tubería De Acero Inoxidable, ½ “	
	Válvula roscable de bola PVC, ½ “	
	Conexión T PVC, ½ “	Sistema interconectado de mangueras entre colector solar, reservorio y reactor
	Acoples para manguera PVC, ½ “	
RESERVORIO	Abrazadera metálica, ½ “	
	Mangueras plásticas, ½ “	
	Tubería de acero inoxidable, ½ “	Interconexión - colector solar, reservorio

Nota: Detalle de implementos utilizados para la construcción de cada elemento del prototipo y su sistema de calentamiento

## 4.2. Lugar de investigación

Independientemente de la locación geográfica de sus instalaciones se debe satisfacer como requisito indispensable que el colector solar debe estar en exposición solar directa, mientras que el digestor y sus componentes electrónicos deben estar bajo techo, se seleccionó inicialmente las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, debido a que posee el espacio necesario para el adecuado montaje del prototipo. Sin embargo, por las condiciones actuales a causa de la pandemia del COVID-19 y las fuertes restricciones de movilidad, se vió la necesidad de replantear la ubicación de los equipos. La localidad escogida cuenta con el espacio requerido para un buen desarrollo experimental de la tesis y se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, distrito metropolitano de Quito en la parroquia Solanda, sector No. 4, con coordenadas UTM: -0.2710844783219055, -78.54056240343684. Se presenta a continuación una vista satelital del lugar:

**Figura 4**

*Vista satelital de localidad seleccionada.*



### **4.3. Métodos**

El presente trabajo fue desarrollado bajo un régimen experimental en tres etapas diferentes, la primera parte consistió en el diseño teórico del proceso, se seleccionó materiales, método de calentamiento e instrumentación requerida, la segunda etapa en contexto fue la etapa de construcción a cargo del fabricante contratado, y finalmente debido a que las interacciones que se efectúan entre un digestor, su chaqueta de calentamiento y un colector solar son experimentales se procedió al arranque y operación del sistema que permitió el aumento progresivo de la temperatura hasta un valor específico, y su estabilización constante durante un tiempo de retención estimado de 21 días. Se complementó mediante métodos deductivos e inductivos para la elaboración del diseño y construcción del biodigestor encamisado, y las condiciones para su óptimo funcionamiento fueron obtenidas de (Rivera & Suárez, 2010), (Ortiz, Rodriguez , Cajiao, & Maldonado , 2016) y (Chiriboga, 2010), las respectivas variables de control y parametrización, que garantizaron un adecuado funcionamiento del sistema fueron

principalmente pH y temperatura. Posteriormente se realizó un escrutinio de datos registrados de forma manual.

Se llevó a cabo un tratamiento de digestión anaerobia, con la ayuda del digestor enchaquetado tipo batch producto del diseño ejecutado. El fluido que calienta la zona perimetral exterior del biorreactor fue alimentado mediante un colector solar plano, con la finalidad de mantener una temperatura de 36 °C para el crecimiento óptimo de bacterias metanogénicas (Rivera & Suárez, 2010).

#### ***4.3.1. Diseño de biorreactor***

Para el cálculo de las dimensiones referente al digestor, se usó un volumen de 5 litros y una forma cilíndrica con diámetro de 15 cm establecido por recomendación del fabricante para instrumentación a escala de laboratorio. Se aplicó la ecuación (13) se obtiene el valor de altura del equipo.

##### **Datos:**

Volumen (V) = 5 L

Diámetro de la zona de biomasa ( $\emptyset$ ) = 15 cm

$$h = \frac{V}{\pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2}$$

$$h = \frac{5000 \text{ cm}^3}{\pi * \left(\frac{15 \text{ cm}}{2}\right)^2}$$

$$h = 28,29 \text{ cm} \approx 29 \text{ cm}$$

#### 4.3.2. *Diseño chaqueta de calentamiento*

Para el diseño de la chaqueta de calentamiento se aplicó la ecuación (14) y adicional a esto se implementó un espacio de 7,5 cm a cada lado del digestor por recomendación bibliográfica presente en la investigación realizada por Rivera. M, referente a diseño de biorreactores tipo batch

##### **Simbología**

Volumen zona de biomasa =  $V_a$  (L)

Altura zona de biomasa =  $h_{c_1}$  (cm)

Altura camisa sección 2 =  $h_{c_2}$  (cm)

Altura total =  $h_a$  (cm) + 7,5 (cm)

Diámetro =  $\emptyset_a$  (cm)

Diámetro total =  $(\emptyset_t) = [ \emptyset_a + 2(7,5) ](\text{cm})$

##### **Datos**

Volumen zona de biomasa (  $V_a$ )= 5 L

Altura zona de biomasa ( $h_{c_1}$ ) = 29 cm

Altura camisa sección 2 (  $h_{c_2}$ ) = 7,5 cm

Altura total = (29 + 7,5) cm

Diámetro ( $\emptyset_a$ ) = 15 cm

Diámetro ( $\emptyset_t$ ) = [15 + 2(7,5) ]cm

$$V_t = \left\{ \left[ \pi * \left( \frac{\emptyset_t}{2} \right)^2 * h_{c_1} \right] - V_a \right\} + \left[ \pi * \left( \frac{\emptyset_t}{2} \right)^2 * h_{c_2} \right]$$

$$V_t = \left\{ \left[ \pi * \left( \frac{[15 + 2(7,5)] \text{ cm}}{2} \right)^2 * 29 \text{ cm} \right] - 5000 \text{ cm}^3 \right\} \\ + \left[ \pi * \left( \frac{[15 + 2(7,5)] \text{ cm}}{2} \right)^2 * 7,5 \text{ cm} \right]$$

$$V_t = 20800,33 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 20,8 \text{ L}$$

De esta manera se indica que la cantidad de agua aplicable dentro de la camisa es de 20,8 litros, que cumplirá la función de calentar mediante convección la zona de biomasa.

#### **4.3.3. Diseño del mezclador**

Se hizo uso de las dimensiones estructurales del tanque de digestión para obtener las magnitudes del rodete de agitación.

##### **Datos necesarios**

Diámetro de la zona de biomasa ( $\emptyset$ ) = 15 cm

Altura de la zona de biomasa (h) = 29 cm

##### **4.3.3.1. Diámetro del rodete**

El diámetro se calcula aplicando la ecuación (15).

$$\emptyset_r = \frac{1}{2} * \emptyset$$



$$\phi_r = \frac{1}{2} * 15 \text{ cm}$$

$$\phi_r = 7,5 \text{ cm}$$

#### 4.3.3.2. Espacio entre el rodete y la base del digestor

El espacio entre el rodete y la base del digestor se calcula aplicando la ecuación (16).

$$E_r = \frac{1}{3} * \phi$$

$$E_r = \frac{1}{3} * 15 \text{ cm}$$

$$E_r = 5 \text{ cm}$$

#### 4.3.3.3. Longitud del eje

La longitud del eje se calcula con la ecuación (17).

$$L_r = h - E_r$$

$$L_r = 29 \text{ cm} - 5 \text{ cm}$$

$$L_r = 24 \text{ cm}$$

#### 4.3.3.4. Cálculo del alto y largo de la paleta

El alto y largo de la paleta se calculan con las ecuaciones (18) y (19) respectivamente.

$$h_p = \frac{1}{5} * \phi_r$$

$$h_p = \frac{1}{5} * 7,5 \text{ cm}$$

$$h_p = 1,5 \text{ cm}$$

#### Ecuación 19

$$L_p = \frac{1}{4} * \phi_r$$

$$L_p = \frac{1}{4} * 7,5 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,875 \text{ cm}$$

#### 4.3.3.5. Numero de aspas

El número de aspas es un valor escogido con la intención de obtener un flujo laminar o turbulento, debido a bibliografía (Uribe, 2013) se consideró 6 paletas con inclinación de 45°.

#### 4.3.3.6. Calculo número de Reynolds

Para el cálculo del número de Reynolds se aplica la ecuación (20).

$$Re = \frac{\phi_r^2 * N * \delta}{\mu}$$

### Simbología

Número de Reynolds = **Re**

Diámetro rodete =  $\phi_r$  (m)

Velocidad de rotación = N ( rps)

Densidad dl flujo=  $\delta \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

Viscosidad =  $\mu \left( \frac{kg}{m*s} \right)$

### Datos

Diámetro rodete = 7,5 cm -> 0,075 m

Velocidad de rotación = 2,5 ( rps)

Densidad del flujo= 998,2  $\frac{Kg}{m^3}$  (Universidad Nacional de Cuyo, 2012)

Viscosidad = 1,005  $\frac{Kg}{m*s}$

$$Re = \frac{(0,075)^2 * (2,5) * (998,2)}{1,005}$$

$$Re = 13,96$$

Dado que el valor del Número de Reynolds es menor que 1000 (re), se considera un flujo laminar.

#### 4.3.3.7. Cálculo de potencia del mezclador

El cálculo de potencia del mezclador se lo realizó mediante la ecuación (21) y se aplicó las consideraciones en base al número de Reynolds.

Debido a que el valor del número de Reynolds fue menor a 1000 y que se encuentra relacionado de manera directa con la forma y cantidad de paletas del mezclador, donde  $K_L$  tiene un valor de 70 debido a las características del flujo (Uribe, 2013). En flujo laminar, la densidad no influye, y se obtiene la siguiente fórmula:

##### Simbología

Diámetro rodete =  $\phi_r$  (m)

Velocidad de rotación =  $N$  ( rps)

Viscosidad =  $\mu \left( \frac{kg}{m*s} \right)$

Constante =  $K_L$

##### Datos

Diámetro rodete = 0,075 m

Velocidad de rotación = 2,5 ( rps)

Viscosidad = 1,005  $\frac{Kg}{m*s}$

Constante = 70

$$P = K_L * N^2 * \phi_r^3 * \mu$$

$$P = 70 * (2,5)^2 * 0,075^3 * 1,005$$

$$P = 0,185 W$$

$$P = 2,48 \times 10^{-4} \text{ HP}$$

#### 4.3.4. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

##### 4.3.4.1. Cálculo Número de Prandal y Número de Nusset

El cálculo del número de Prandal se lo realizó mediante la ecuación (23) y el cálculo del número de Nusset mediante la ecuación (22)

#### Simbología

Número de Nusselt =  $Nu$

Coeficiente individual de transferencia de calor dentro del tanque =  $h_i \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$

Diámetro interno del tanque =  $\emptyset \text{ (m)}$

Conductividad térmica del fluido =  $k \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$

Numero de Reynolds =  $Re$

Diámetro del agitador =  $L$

Densidad del fluido =  $\delta \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

Viscosidad =  $\mu \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$

Velocidad de rotación =  $N \text{ ( rps)}$

Numero de Prandtl =  $Pr$

Calor específico =  $C_p \text{ (vaxasoftware )}$

Viscosidad del fluido a la temperatura de la pared =  $\mu_p \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$

Constantes =  $a, b, m$

## Datos

Coefficiente individual de transferencia de calor dentro del tanque =  $h_i$

Diámetro interno del tanque = 0,15 m

Conductividad térmica del fluido (agua) =  $0,62 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$

Numero de Reynolds = 13,96

Diámetro del agitador = 0,075 m

Densidad del fluido =  $998,2 \frac{Kg}{m^3}$

Viscosidad =  $1,005 \frac{Kg}{m \cdot s}$

Velocidad de rotación = 2,5 ( rps)

Calor específico =  $4,178 \left( \frac{Kj}{kg \cdot ^\circ C} \right)$

Constantes:

- a: 0,54
- b: 0,67
- m: 0,14

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{4,178 \left( \frac{Kj}{kg \cdot ^\circ C} \right) * \left( \frac{1000 J}{1 Kj} \right) * 1,005 \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)}{0,62 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)}$$

$$Pr = 6772,40$$

$$Nu = \frac{h_i * \phi}{k} = a * Re^b * Pr^{\left(\frac{1}{3}\right)} \left( \frac{\mu}{\mu_p} \right)^m$$

$$\frac{h_i * (0,15 \text{ m})}{\left(0,62 \left[\frac{w}{m^{\circ}\text{C}}\right]\right)} = (0,54) * (13,96)^{0,67} * (6772,40)^{\left(\frac{1}{3}\right)} (1)^{0,14}$$

$$h_i = \frac{\left\{(0,54) * (13,96)^{0,67} * (6772,40)^{\left(\frac{1}{3}\right)} (1)^{0,14}\right\} * \left(0,62 \left[\frac{w}{m^{\circ}\text{C}}\right]\right)}{(0,15 \text{ m})}$$

$$h_i = 246,99 \frac{w}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

De este modo se determina que el coeficiente de transferencia de calor dentro del tanque es de:  $246,99 \frac{w}{m^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}$

#### 4.3.5. Balance de energía

El balance de energía se identificó mediante el uso de la ecuación (1), (2) y su respectivo desarrollo:

##### Simbología

Masa de la sustancia: m

Capacidad térmica específica: Cp

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T$

**Nota:** El valor de **Ti** de la biomasa, se lo tomó de la temperatura ambiente, registrada por la red meteorológica las siete de la mañana en Quito, que es de 20 grados centígrados (MeteoRed, s.f.). El valor de **Tf** referente a la biomasa se tomó de 35 °C debido a que es la temperatura adecuada para el crecimiento óptimo de bacterias metanogénicas (Rivera & Suárez, 2010). El valor de **Ti** del fluido de calefacción que circula en el sistema de calefacción, se la obtuvo de los valores de temperatura registrados a tiempo

real durante las horas de la mañana en el arranque del sistema, obteniendo un valor de 13°C

### Datos

Biomasa

Masa de la sustancia: 5 kg

Capacidad térmica específica:  $0,93 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

Variación de temperatura:

- $T_f = 35^\circ\text{C}$
- $T_i = 20^\circ\text{C}$

Agua caliente

Capacidad térmica específica:  $0,99 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

Variación de temperatura:

- $T_f = 35^\circ\text{C}$
- $T_i = 13^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{salida}}$$

$$(m \text{ Cp } \Delta T)_{\text{Biomasa}} = (m \text{ Cp } \Delta T)_{\text{agua caliente}}$$

$$\left( 5 \text{ kg} * 0,93 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (35 - 20)^\circ\text{C} \right)_{\text{Biomasa}} = \left( m * 0,99 \frac{\text{Kcal}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (35 - 13) \right)_{\text{agua caliente}}$$

$$69,75 = 21,78 m$$

$$m = 3,20 \text{ kg}$$



El volumen teórico para mantener la temperatura a 35 °C se calcula aplicando la formula básica de densidad:

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{3,20 \text{ kg}}{998,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0,00320 \text{ m}^3 \approx 3,208 \text{ L}$$

Una vez obtenido el volumen de agua adecuado, fue necesario identificar cuanto calor transmitió el agua dentro de la camisa a lo largo de un periodo de arranque generado con las características del colector solar, este valor de arranque fue de 4 horas, debido a que fue el tiempo medido al cual el colector logró calentar todo el digestor en las pruebas operacionales. por lo que se usó de la ecuación (3) y sus respectivas ecuaciones complementarias.

#### 4.3.5.1. Cálculo del calor de la biomasa

El calor de la biomasa se calculó mediante la ecuación (4).

##### **Simbología**

Calor de biomasa =  $Q_{biomasa}$  (Kw)

Peso de la biomasa = m (Kg)

Calor específico de la biomasa=  $C_p \left( \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right)$

Variación de temperatura:  $T_f - T_i = \Delta T(^{\circ}\text{C})$

Tiempo: t (seg)

### Datos

Peso de la biomasa = 5 (Kg)

Calor específico de la biomasa =  $0,93 \frac{kcal}{kg\ ^\circ C} * \frac{4,184\ Kj}{1kcal}$

Variación de temperatura:

Variación de temperatura:

- $T_f = 35\ ^\circ C$
- $T_i = 20\ ^\circ C$

Tiempo: 4 h \* 60 min \* 60 seg (seg)

$$Q_{biomasa} = m * Cp * \frac{T_f - T_i}{t}$$

$$Q_{biomasa} = 5\ kg * 0,93 \frac{kcal}{kg\ ^\circ C} * \frac{4,184\ Kj}{1kcal} * \frac{(35 - 20)^\circ C}{(4 * 60 * 60)\ seg}$$

$$Q_{biomasa} = 0,02\ kw$$

#### 4.3.5.2. Cálculo del calor de la pared interna

La variación de calor en la pared interna se calculó mediante la ecuación (5).

### Simbología

Calor de la pared interna =  $Q_{int}$  (Kw)

Densidad del acero 304 =  $\rho_{acero} \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$

Calor específico del acero =  $Cp_{acero} \left( \frac{Kj}{Kg\ ^\circ C} \right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $V_{zona\ de\ biomasa} (m^3)$

Variación de temperatura:  $T_f - T_i = \Delta T (^\circ C)$

Tiempo: t (seg)

### Datos

Densidad del acero 304 =  $7850 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$  (Palacios , 2011)

Calor específico del acero=  $460 * \frac{1}{1000} \left( \frac{Kj}{Kg ^\circ C} \right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $0,005(m^3)$

Variación de temperatura:

Variación de temperatura:

- $Tf = 35^\circ C$
- $Ti = 20^\circ C$

Tiempo: 4 h\* 60 min \* 60 seg (seg)

$$Q_{pared\ int} = \rho_{acero} * Cp_{acero} * V_{zona\ de\ biomasa} \frac{Tf - Ti}{t}$$

$$Q_{int} = 7850 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) * 460 * \frac{1}{1000} \left( \frac{Kj}{Kg ^\circ C} \right) * 0,005(m^3) \frac{(35 - 20)^\circ C}{(4 * 60 * 60)}$$

$$Q_{int} = 0,018\ kw$$

#### 4.3.5.3. Cálculo del calor del aislamiento

El calor del aislamiento se calcula mediante la ecuación (6).

### Simbología

Calor del aislamiento =  $Q_{\text{aislamiento}}$  (Kw)

Coefficiente de conductividad térmica=  $K_{\text{aislamiento}} \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$

Longitud del tanque =  $l(m)$

Variación de temperatura:  $T_f - T_i = \Delta T(^{\circ}C)$

Tiempo:  $t$  (seg)

Radio interno=  $r_1 (cm)$

Radio externo=  $r_2 (cm)$

### Datos

Coefficiente de conductividad térmica=  $0,07 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$

Calor específico del acero=  $Cp_{\text{acero}} \left( \frac{Kj}{Kg \cdot ^\circ C} \right)$

Longitud del tanque =  $36,5 (cm)$

Variación de temperatura:

- $T_f = 35 ^\circ C$
- $T_i = 20^{\circ}C$

Radio interno=  $26 (cm)$

Radio externo=  $30 (cm)$

$$Q_{\text{aislamiento}} = \frac{K_{\text{aislamiento}} * 2\pi l * (T_f - T_i)}{\ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}$$

$$Q_{\text{aislamiento}} = \frac{0,03 \left( \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right) * 2\pi * [36,5 (cm)] * (35 - 20)^{\circ}C}{\ln \left( \frac{30}{26} \right)}$$

$$Q_{aislamiento} = 721,17 \text{ w} \approx 0,7211 \text{ kw}$$

#### 4.3.5.4. Cálculo del calor de la pared externa

El calor de la pared externa se calcula mediante la ecuación (7).

##### **Simbología**

Calor de la pared externa =  $Q_{ext}$  (Kw)

Densidad del acero =  $\rho_{acero} \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$

Calor específico del acero =  $Cp_{acero} \left( \frac{Kj}{Kg \text{ } ^\circ C} \right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $V_{zona \text{ de biomasa}} (m^3)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T (^\circ C)$

Tiempo: t (seg)

##### **Datos**

Densidad del acero =  $7850 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$

Calor específico del acero =  $460 * \frac{1}{1000} \left( \frac{Kj}{Kg \text{ } ^\circ C} \right)$

Volumen de la zona de biomasa =  $20,8 \text{ L} * 0,001 (m^3)$

Variación de temperatura:

Variación de temperatura:

- $Tf = 35 \text{ } ^\circ C$
- $Ti = 20^\circ C$

Tiempo:  $4 \text{ h} * 60 \text{ min} * 60 \text{ seg}$

$$Q_{pared\ ext} = \rho_{acero} * Cp_{acero} * V_{zona\ de\ biomasa} \frac{Tf - Ti}{t}$$

$$Q_{pared\ ext} = 7850 \left( \frac{Kg}{m^3} \right) * 460 * \frac{1}{1000} \left( \frac{Kj}{Kg\ ^\circ C} \right) * 20,8 * 0,001(m^3) \frac{(35 - 20)^\circ C}{(4 * 60 * 60) (seg)}$$

$$Q_{pared\ ext} = 0,078\ kw$$

#### 4.3.5.5. Cálculo del calor mediante convección

El gradiente de calor mediante convección se calculó mediante la ecuación (8).

#### Simbología

Calor por convección al exterior=  $Q_{convec\ ext}$  (Kw)

Coeficiente de transferencia de calor del aire=  $h_{aire} \left( \frac{W}{m^2^\circ C} \right)$

Área de trasferencia de calor =  $A_{Transf} (m^2)$

Variación de temperatura:  $Tf - Ti = \Delta T (^\circ C)$

Tiempo: t (seg)

#### Datos

Calor por convección al exterior=  $Q_{convec\ ext}$  (Kw)

Coeficiente de transferencia de calor del aire=  $h_{aire} \left( \frac{W}{m^2^\circ C} \right)$

Área de trasferencia de calor =  $A_{Transf} (m^2)$

Variación de temperatura:

- $Tf = 35\ ^\circ C$
- $Ti = 20^\circ C$

Tiempo: 4 h

$$Q_{convec\ ext} = h_{aire} * A_{Transf} * T_f - T_i$$

$$Q_{convec\ ext} = 6,21 \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right) * 2 * \pi * 30\ cm * 36,5\ cm * \left( \frac{1m}{100\ cm} \right)^2 * (35 - 20)^\circ C$$

$$Q_{convec\ ext} = 64,088\ W \approx 0,064\ kw$$

#### 4.3.5.6. Cálculo del calor cedido

El calor cedido se calcula mediante la ecuación (3) debido a que es una sumatoria de las ecuaciones complementarias:

$$Q_{cedido} = Q_{biomasa} + Q_{pared\ int} + Q_{aislamiento} + Q_{pared\ ext} + Q_{convec\ ext}$$

$$Q_{cedido} = 0,02\ kw + 0,018\ kw + 0,7211\ kw + 0,078\ kw + 0,064\ kw$$

$$Q_{cedido} = 0,9\ kw$$

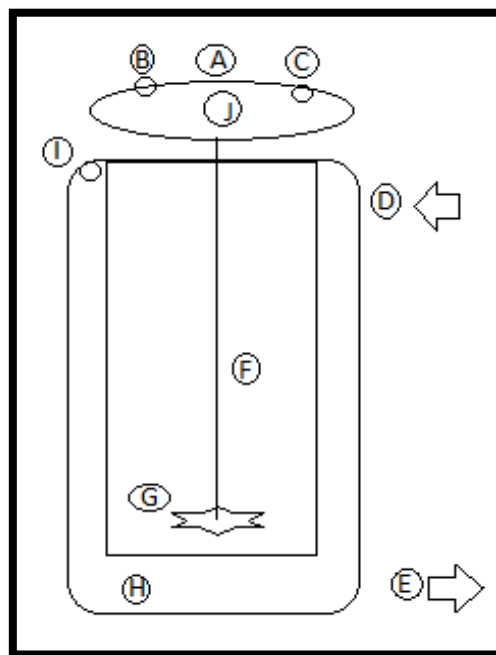
Nota: No se tomó en cuenta el calor entregado por radiación, debido a que el prototipo por sus componentes electrónicos requiere que el reactor se encuentre bajo techo mientras el sistema de calefacción a la intemperie, debido a esto para obtener el valor de calor cedido, se omitió esta variable.

#### 4.3.6. Partes del equipo

En la imagen a continuación se presenta un esquema del prototipo a construir, se detalla la ubicación de cada accesorio que compone al equipo.

**Figura 5**

*Diagrama de las partes del prototipo.*



#### **Descripción**

A: Salida de gas metano

B: Manómetro

C: Termocupla del digestor

D: Ingreso de flujo de agua a la chaqueta

E: Salida de flujo de agua a la chaqueta

F: Eje del mezclador

G: Rodete

H: Chaqueta de calentamiento

I: Termocupla de la chaqueta

J: pHmetro



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado se encuentran las características estructurales del equipo con los dimensionamientos de los cálculos de diseño y sus características operativas, así como, las pruebas realizadas con el digestor enchaquetado, con el objetivo de evidenciar un óptimo funcionamiento del equipo y sus distintos accesorios.

El periodo de prueba se realizó en el mes de agosto y se dividió el experimento en 2 etapas. En la primera etapa se registró únicamente valores de temperatura en un intervalo de 15 minutos en el colector solar, reservorio y digestor enchaquetado; desde las 7 a.m. hasta la puesta del sol, esta etapa se llamó “Etapa de diagnóstico”. En la segunda etapa se registró valores de temperatura, pH y presión en un intervalo de 1 hora en el digestor enchaquetado, durante un periodo de 21 días, esta etapa se llamó “Puesta en marcha”.

### 5.1. Digestor enchaquetado

El plano del digestor enchaquetado se realizó en el programa AutoCAD y se muestra en el anexo 1. El prototipo respectivo fue construido en acero inoxidable 304 y se presenta en el anexo 2. Sus características estructurales, así como operativas se detallan a continuación:

**Tabla 5**

*Características físicas del digestor enchaquetado.*

	Característica	Valor
Digestor	Estructura y ejes de acero inoxidable 304	1mm de espesor
	Diámetro del tanque	123 mm
	Altura del tanque	250 mm
	Volumen físico:	2.85L
	Volumen utilizable	2L
Chaqueta de calentamiento	Altura	101 cm
	Diámetro	60 cm
	Volumen	0,28
	Espesor de pared	1 mm

Característica	Valor
Espesor aislante	4 mm

**Tabla 6**

*Características operativas del digestor enchaquetado.*

Instrumentación	
Digestor	Manómetro
	Agitador con motor eléctrico 24V DC con potenciómetro
	Termocupla
	Sensor de pH shield 1.1
	Tarjeta Arduino
	Pantalla LCD
Chaqueta de calentamiento	Manómetro
	Agitador con motor eléctrico 24V DC con potenciómetro
	Termocupla
	Sensor de pH shield 1.1
	Tarjeta Arduino
	Pantalla LCD

En relación con la fuente de alimentación complementaria de calor, se optó por el aprovechamiento de la energía solar a través de un colector solar plano con la intención de obtener una temperatura constante dentro del digestor. A continuación, se presentan las características físicas y datos técnicos del arquetipo empleado.

**Tabla 7**

*Características del colector solar.*

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES		DATOS TÉCNICOS	VALORES
COLECTOR SOLAR	Tubería de cobre	Eficiencia energética	40-60%
	Superficie de absorción de aluminio con pintura color mate	potencia térmica	300 W
	Aislamiento térmico	irradiación de	834 W/m <sup>2</sup>

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES		DATOS TÉCNICOS	VALORES
Base metálica		ensayo	
Soporte		velocidad del agua	5cm/s
		temperatura máxima	55C
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	VALORES	temperatura mínima	28 C
Largo	1,04m	volumen de acumulación	40 L
Ancho	0,65m	vida útil	15 años

Nota: Ficha proporcionada por el fabricante del prototipo

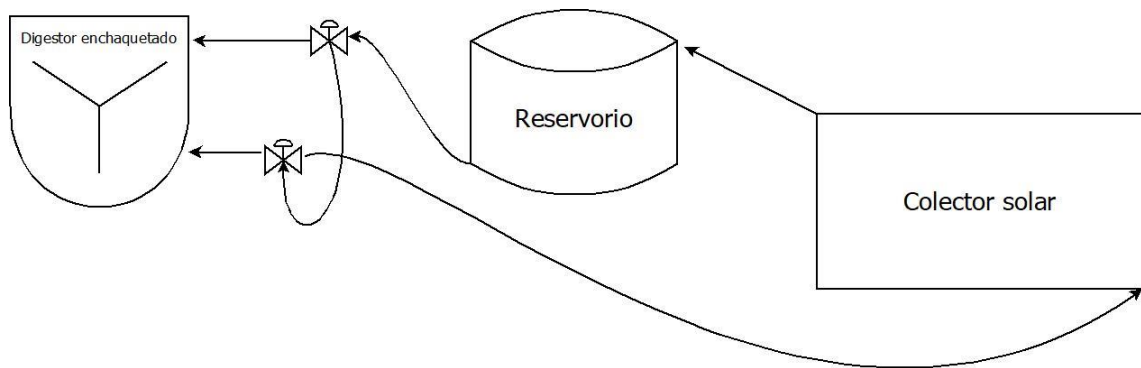
Las variables de control, las pruebas y evaluación de los equipos con diferentes condiciones de operación, se describen en la siguiente sección.

## 5.2. Pruebas de los equipos

Para las pruebas del prototipo se realizó una conexión entre los equipos mediante un sistema de mangueras que facilitó el control por separado del flujo de entrada y salida del líquido de calentamiento, en este caso agua. En la etapa de diagnóstico, se planteó un sistema de calentamiento que se conformó únicamente de la interconexión del reservorio y el colector solar con el objetivo de mantener una masa de agua caliente ubicada en el reservorio mediante el efecto termosifón. Para las pruebas complementarias se permitió el ingreso del fluido previamente temperado a la chaqueta de calentamiento y de esta manera iniciar el aumento de la temperatura dentro del equipo como se puede observar en la figura 6.

**Figura 6**

*Sistema de calentamiento del fluido.*



Nota: Esquema de conexión entre los equipos mediante un sistema de mangueras.

Las distintas pruebas realizadas en la etapa de diagnóstico y puesta en marcha de los equipos son detalladas a continuación:

#### **Etapa de diagnóstico**

- Pruebas del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación
- Pruebas del sistema de calentamiento sin recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación
- Prueba del digestor enchaquetado a temperatura ambiente
- Prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación

#### **Puesta en marcha**

- Prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante

Adicional a las distintas pruebas se aplicó un análisis estadístico ANOVA en las pruebas que presenten 2 o más condiciones experimentales diferentes, con la intención de identificar el efecto en el tratamiento y determinar la influencia del mismo.

En las pruebas se determinaron variables de control del sistema a partir de puntos claves de optimización del rendimiento del proceso que se consideran para la obtención de biogás. A su vez se contrastó el criterio de los autores con la bibliografía citada en el apartado de variables de proceso del marco teórico.

**Tabla 8**

Variables de control.

VARIABLES DE CONTROL	UNIDADES	PUNTO DE INTERÉS	JUSTIFICACIÓN
Temperatura	°C	Temperatura colector solar	El sistema de calefacción funciona con base en el fenómeno de termosifón, es necesario identificar las distintas temperaturas generadas en cada punto de interés del sistema. Con la finalidad de identificar la trayectoria del calor dentro de este.
		Temperatura reservorio	
		Temperatura externa (camisa)	
		Temperatura interna (digestor)	
		Temperatura reservorio alterno	
Potencial de hidrogeno	pH	Digestor	El control de los valores de pH permite demostrar el adecuado cumplimiento de un proceso de digestión anaerobia.
Agitación	rps	Digestor	Homogenización de la biomasa y distribución calórica.
Presión	bar	Digestor	Verificación de la presencia o ausencia de gas dentro del tanque de digestión.

### 5.3. Etapa de diagnostico

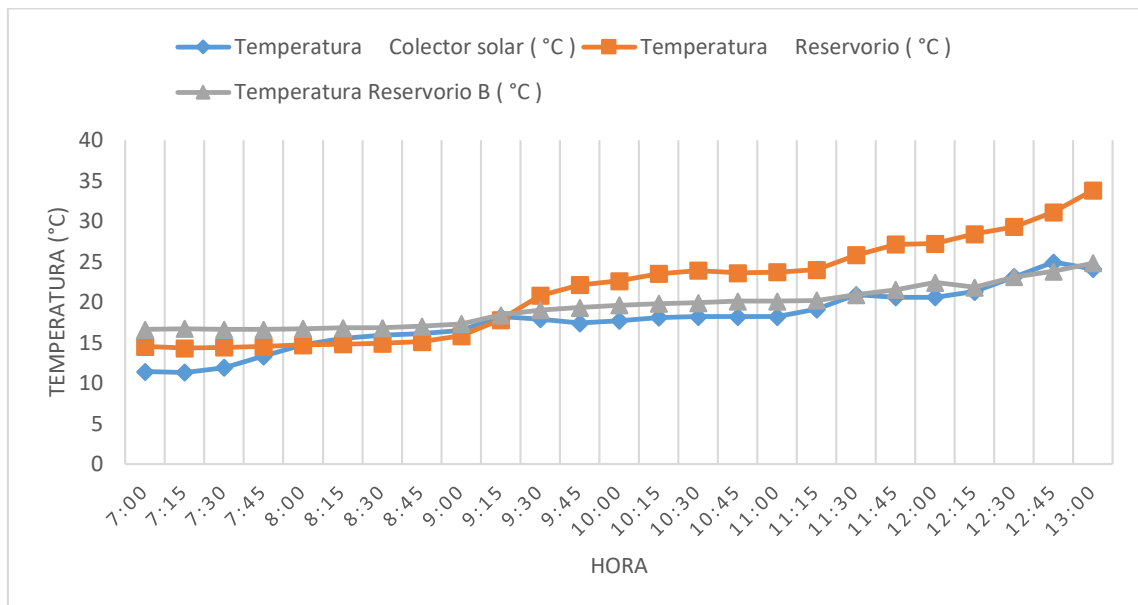
#### 5.3.1. Pruebas del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación

Por “grados de inclinación”, se refiere al ángulo de inclinación al cual el colector solar estuvo sometido en la prueba.

El registro de datos del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 grados de inclinación se muestra en el anexo 7 y a continuación se presenta el comportamiento del sistema.

**Figura 7**

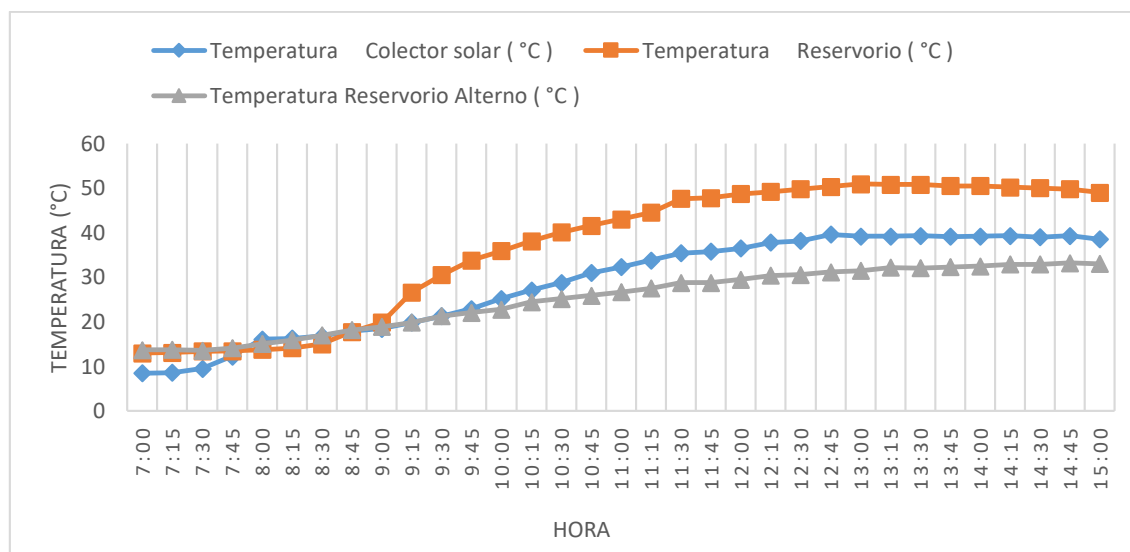
*Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (con recirculación).*



Para la segunda condición de prueba el registro de datos del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 45 grados de inclinación se muestra en el anexo 9 y su comportamiento se presenta a continuación:

**Figura 8**

*Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (con recirculación).*



Debido a que la prueba presenta 2 condiciones variables que en este caso son una inclinación de 10 y 45 grados en el colector solar, y la aplicación de un reservorio alterno, se aplicó un análisis ANOVA para cada condición, a continuación, se presenta el resumen de los análisis estadísticos.

**Tabla 9**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados).*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	7809,957089	49	159,3868794	
Tratamiento	742,1520222	1	742,1520222	5,532825488
Residual	6438,536178	48	134,1361704	

**Tabla 10**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de recirculación en prueba a 10 grados de inclinación (reservorio y reservorio alterno).*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	1086,145	49	22,16622449	
Tratamiento	53,8722	1	53,8722	2,505021541
Residual	1032,2728	48	21,50568333	

**Tabla 11**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de recirculación en prueba a 45 grados de inclinación (reservorio y reservorio alterno).*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	11035,14446	73	151,1663625	
Tratamiento	2094,590405	1	2094,590405	16,86813907
Residual	8940,554054	72	124,1743619	

#### 5.3.1.1. Resumen de resultados de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.

Una vez realizado el escrutinio de los datos se obtuvo la siguiente tabla resumen con los picos máximos de temperatura a los que llegó el sistema en ambas modalidades en días diferentes.

**Tabla 12**

*Temperaturas máximas de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.*

	Fecha	Hora	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )
Temperatura máxima	Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación con recirculación				
	27/7/2020	12:45-13:00	24,9	33,8	24,8
	Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación con recirculación				
	2/8/2020	12:45-13:00	39,6	50,9	33,2

#### 5.3.1.2. Análisis de resultados para la de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.

Con el resumen de los datos de la prueba y las gráficas de comportamiento del sistema se procede a realizar el análisis correspondiente.



Las temperaturas alcanzadas en cada uno de los puntos de interés en los diferentes días, indican temperaturas máximas en horas similares a lo largo del día, estos se dan en el rango de 12:45 P.M. – 13:00 P.M. esto debido a que presentan una radiación similar en estas horas, logrando temperaturas máximas de 33 y 50 °C respectivamente.

Es importante identificar que estos días de prueba fueron sumamente diferentes respecto al tiempo meteorológico, por lo que el análisis estadístico referente a los grados de inclinación de la presente prueba no es del todo confiable. El valor de F ratio en la prueba resulto mayor que el valor en tablas, de tal manera que se asume que los grados de inclinación presentan influencia en la prueba, por lo que es necesario ratificar este resultado con los valores estadísticos en las siguientes pruebas. Adicional a esto el primer valor de F ratio en el análisis entre el reservorio y el reservorio alterno a 10 grados de inclinación, debido a las condiciones expuestas anteriormente obtuvo un valor menor a los valores en tablas, lo que significaría que el sistema de interconexión del reservorio principal no presenta influencia en el proceso de calentamiento. El análisis del valor de f ratio entre el reservorio y el reservorio alterno a 45 grados de inclinación se aplicó en un día alterno que permitió identificar que el sistema de interconexión sí influye dentro del sistema esto debido a que el valor de F ratio en este proceso es mayor que el descrito por tablas, lo que se debe a que el día de los datos de esta prueba, mantuvo condiciones óptimas para el desarrollo del proceso, por lo que los datos son mucho más confiables, pero es necesario ratificar esto con los valores de las demás pruebas.

El salto térmico que ocurre a lo largo de la prueba en cada punto de interés refleja el adecuado flujo de calor producido por el efecto termosifón que tiene lugar dentro del sistema, en el cual la variación de temperaturas genera una divergencia de densidades y, por ende, hay un movimiento térmico entre el reservorio y el colector solar de manera que alcanza temperaturas adecuadas para que la digestión anaerobia se lleve a cabo. El comportamiento de la curva obtenida es similar a las curvas especificadas por Granados, Recinos y Amaya, quienes

señalan que el salto térmico que se da en la entrada y salida de la placa colectora es el responsable del efecto termosifón, y que las temperaturas máximas conservan similitud debido a que existe una irradiación constante (Granados, Recinos, & Sandoval, 2018).

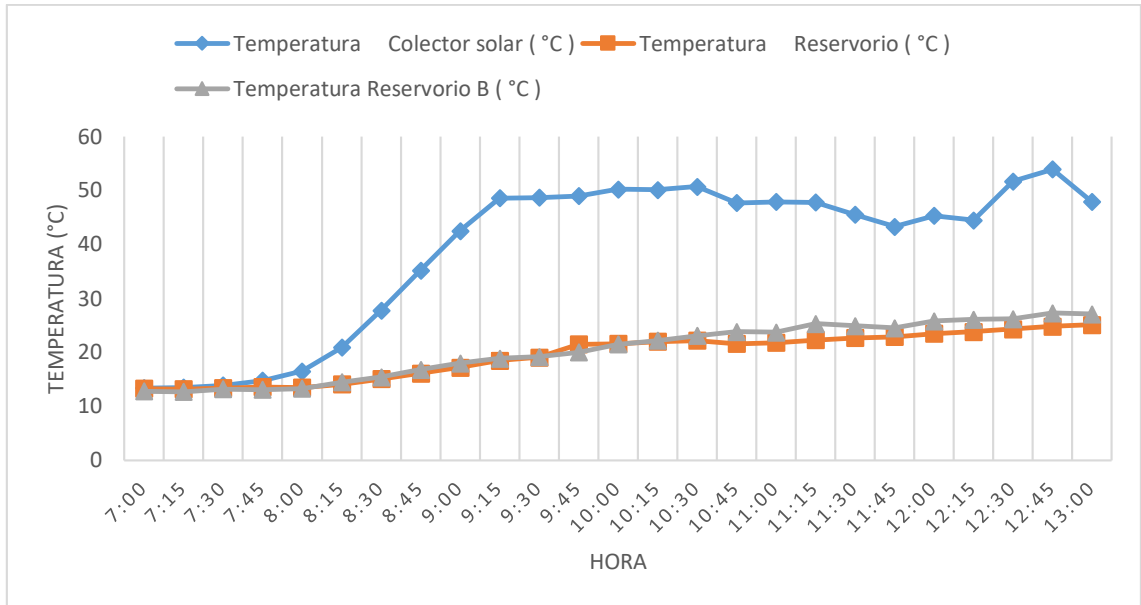
El punto crítico del sistema ocurre cuando la presencia de sol no es del todo continua y durante la noche, debido a que las temperaturas ambientales disminuyen demasiado. Especialmente en la noche, las condiciones ambientales reducen la temperatura a valores de 11 °C lo que impediría una adecuada digestión anaerobia y reduciría el rendimiento en la generación de biogás.

### ***5.3.2. Pruebas del sistema de calentamiento sin recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación***

El registro de datos del sistema de calentamiento sin recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación se muestra en el anexo 8 y anexo 10 respectivamente, a continuación, se presentan los comportamientos del sistema con estas 2 condiciones.

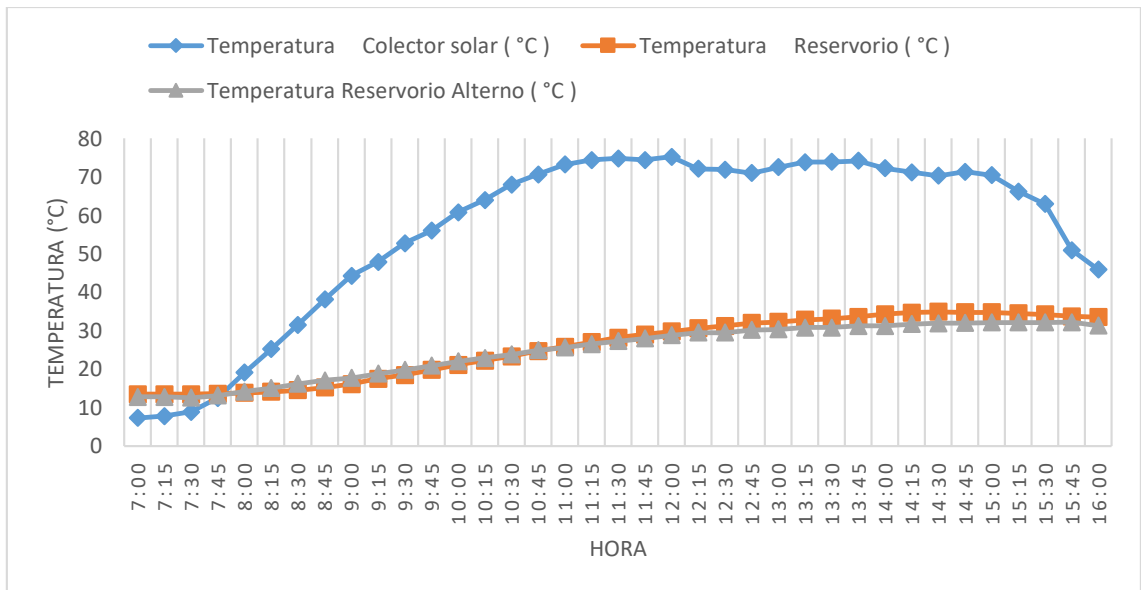
**Figura 9**

*Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (sin recirculación).*



**Figura 10**

*Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (sin recirculación).*



Debido a que la prueba presenta 2 condiciones variables que en este caso son una inclinación de 10 y 45 grados en el colector solar, y la aplicación de un reservorio alterno, se aplicó un análisis ANOVA para cada condición, a continuación, se presenta el resumen de los análisis estadísticos.

**Tabla 13**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados) sin recirculación.*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	1638,860356	49	33,44612971	
Tratamiento	57,17368889	1	57,17368889	1,735382853
Residual	1581,401511	48	32,94586481	

**Tabla 14**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de sistema sin recirculación en prueba a 10 grados (reservorio y reservorio alterno).*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	1078,8088	49	22,01650612	
Tratamiento	9,8568	1	9,8568	0,442607713
Residual	1068,952	48	22,26983333	

**Tabla 15**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de sistema sin recirculación en prueba a 45 grados (reservorio y reservorio alterno)*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	4176,191486	73	57,20810255	
Tratamiento	12,08121622	1	12,08121622	0,208891579
Residual	4164,11027	72	57,83486486	

### 5.3.2.1. Resumen de resultados de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.

Una vez realizado el escrutinio de los datos se obtuvo la siguiente tabla resumen con los picos máximos de temperatura a los que llegó el sistema en ambas modalidades en días diferentes.

**Tabla 16**

*Temperaturas máximas de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.*

	Fecha	Hora	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )
Temperatura máxima	Sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (sin recirculación )				
	30/7/2020	12:45- 13:00	53,9	25,1	27,3
	Sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (sin recirculación )				
	3/8/2020	12:45- 13:00	75,2	34,9	32,2

#### 5.3.2.2. **Análisis de resultados para la de prueba del sistema de calentamiento con recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.**

Con el resumen de los datos de la prueba y las gráficas de comportamiento del sistema se procede a realizar el análisis correspondiente.

Las horas picos en las cuales se registraron valores máximos de temperatura son muy similares a las registradas en la prueba con recirculación. La diferencia de esta prueba radica en la aplicación de un sistema sin recirculación, donde se identifica que las temperaturas máximas de 53,9 y 75, 2 °C en los días respectivos, se dieron en el colector solar. La tendencia de la temperatura de colector solar se mantuvo muy por encima a la tendencia de la temperatura del reservorio a diferencia del tratamiento con recirculación donde se presenta una trayectoria opuesta. Se reflejó de esta manera que al no permitir que el flujo de calor se mueva, la zona con mayor temperatura será el colector solar y la zona con menor temperatura será el reservorio, esto debido a que no se permite que se cumpla en totalidad el efecto termosifón. Las gráficas del comportamiento térmico del colector solar son similares a las curvas obtenidas por Granados, Recinos y Amaya, en las pruebas de colector solar en condiciones normales.

El análisis estadístico referente a la inclinación del colector solar arrojó un valor de F ratio menor a los valores en tablas, de esta manera se indica que el valor de inclinación no influye en el desarrollo adecuado del proceso. Los resultados de este análisis se dieron en días

con condiciones ambientales similares, lo que aumentaría la confiabilidad de los resultados, pero de igual manera es necesario contrastar con los datos de las pruebas siguientes. El F ratio en los dos experimentos referentes al reservorio alterno, resultaron ser menores que los valores en tablas, por lo que las conexiones del sistema de calentamiento en un proceso sin recirculación no generan ninguna significancia, esto se ratifica al identificar el comportamiento del reservorio principal y alterno, la tendencia que mantienen cada uno, es similar, lo que es indicativo de la inexistencia de un intercambio de calor entre el colector solar y el reservorio principal debido al proceso sin recirculación.

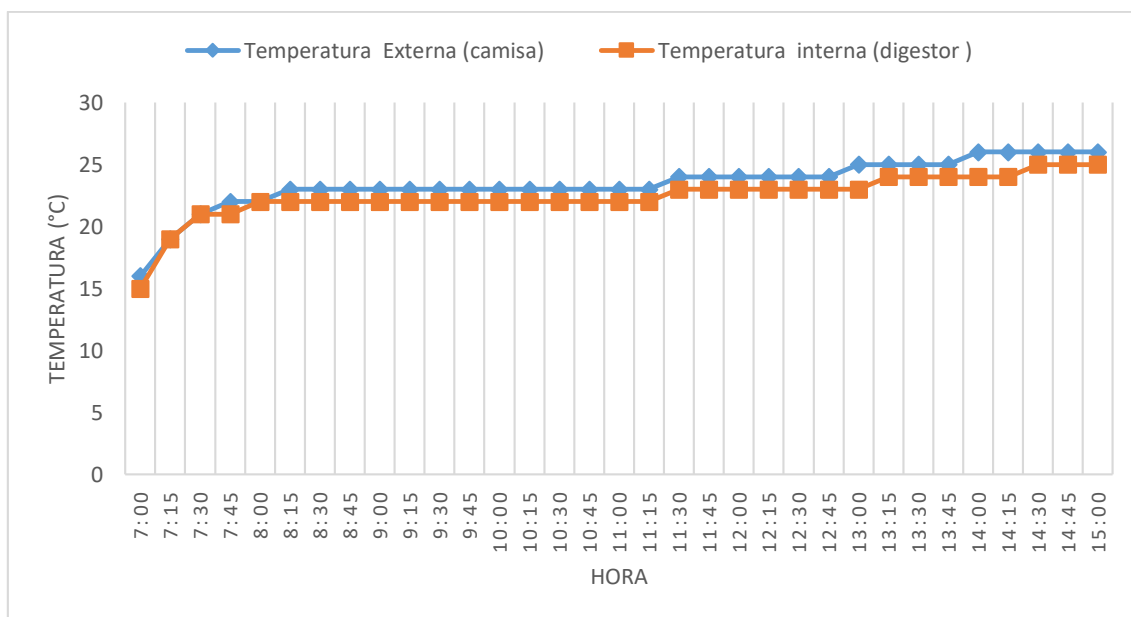
### ***5.3.3. Prueba del digestor enchaquetado a temperatura ambiente***

Por “Temperatura ambiente”, se refiere a que el sistema no se encuentra interconectado al colector solar durante la prueba, por lo cual las temperaturas registradas reflejan únicamente el intercambio calórico entre el digestor enchaquetado y el medio en el que se encuentra.

El registro de datos de las pruebas del digestor enchaquetado a temperatura ambiente en diferentes días se muestra en el anexo 14 y anexo 15, a continuación, se presentan los comportamientos del sistema en diferentes días.

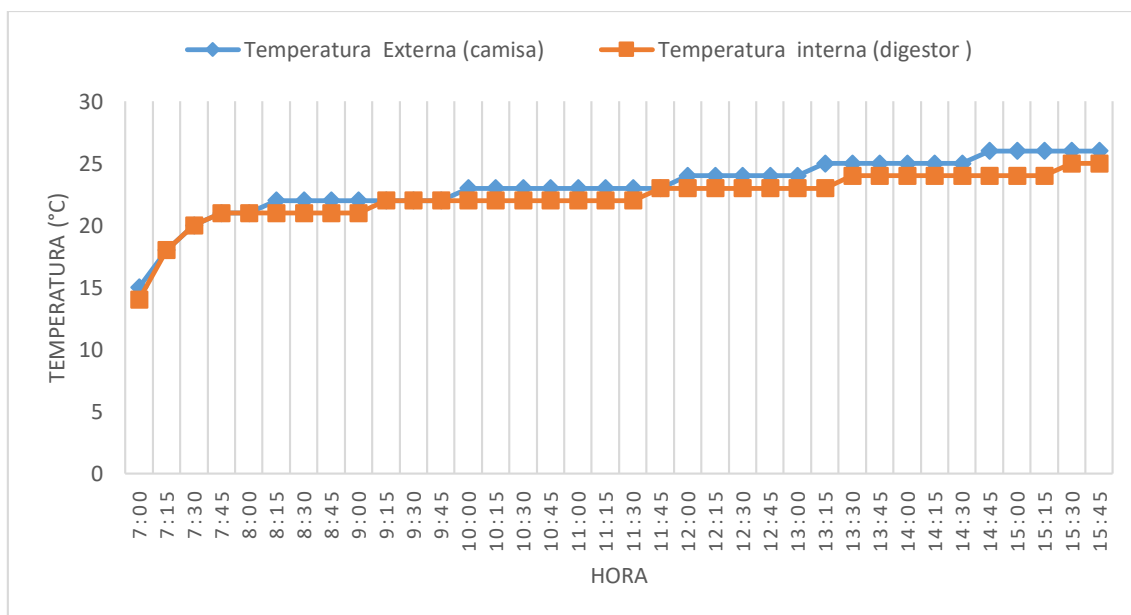
**Figura 11**

*Biodigestor (temperatura ambiente) día 1.*



**Figura 12**

*Biodigestor (temperatura ambiente) día 2.*



#### **5.3.3.1. Análisis de resultados para la prueba del digestor enchaquetado a temperatura ambiente**

En esta prueba se identifica el comportamiento del digestor enchaquetado sin ningún tipo de interconexión a un sistema de calentamiento, lo que desarrolló un precedente para las pruebas siguientes. Las gráficas presentan una tendencia de aumento y reducción gradual de los valores, esto sucede debido a que se encuentran sujetas a la variabilidad térmica del ambiente, de manera alterna presenta el escenario real del comportamiento del sistema en la noche y días sin sol, esto se debió a que al no existir ningún tipo de fuente que genere calor, el sistema se comporta como el medio en el que se encuentra, por lo que es necesario la aplicación de un sistema de emergencia que permita subir la temperatura a niveles adecuados en caso de que el sistema de calentamiento mediante efecto termosifón no abastezca el requerimiento térmico del sistema. Las temperaturas máximas obtenidas en las dos pruebas son de 26 °C en las dos pruebas, temperaturas que no son suficientes para una óptima digestión anaerobia.

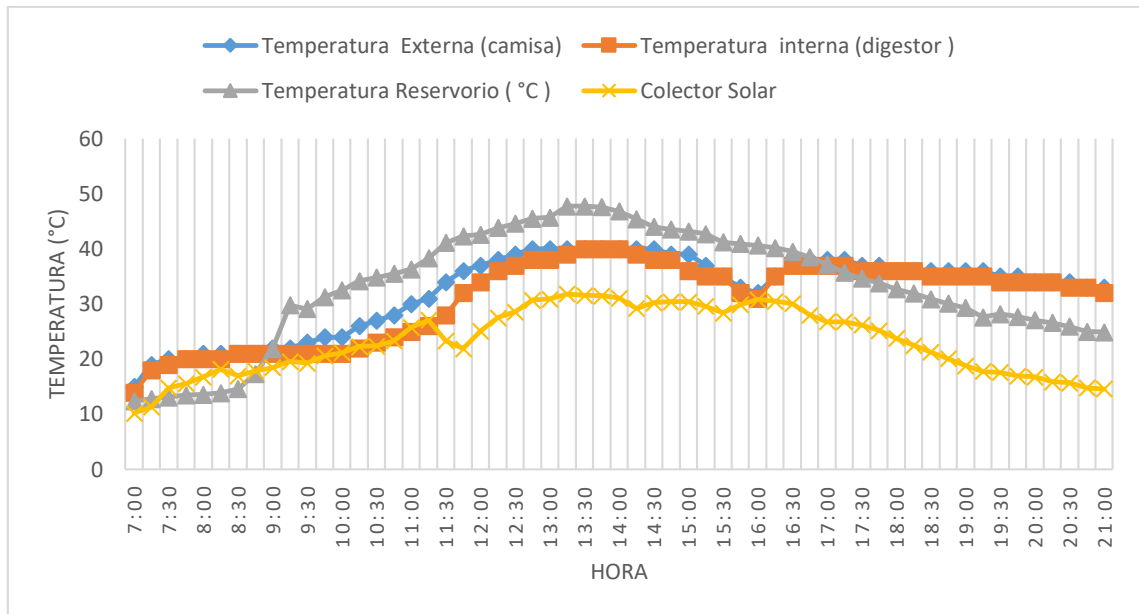
#### **5.3.4. Prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación**

El registro de datos de la prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 grados de inclinación se muestra en el anexo 11, a continuación, se presenta el comportamiento del sistema con esta condición.



**Figura 13**

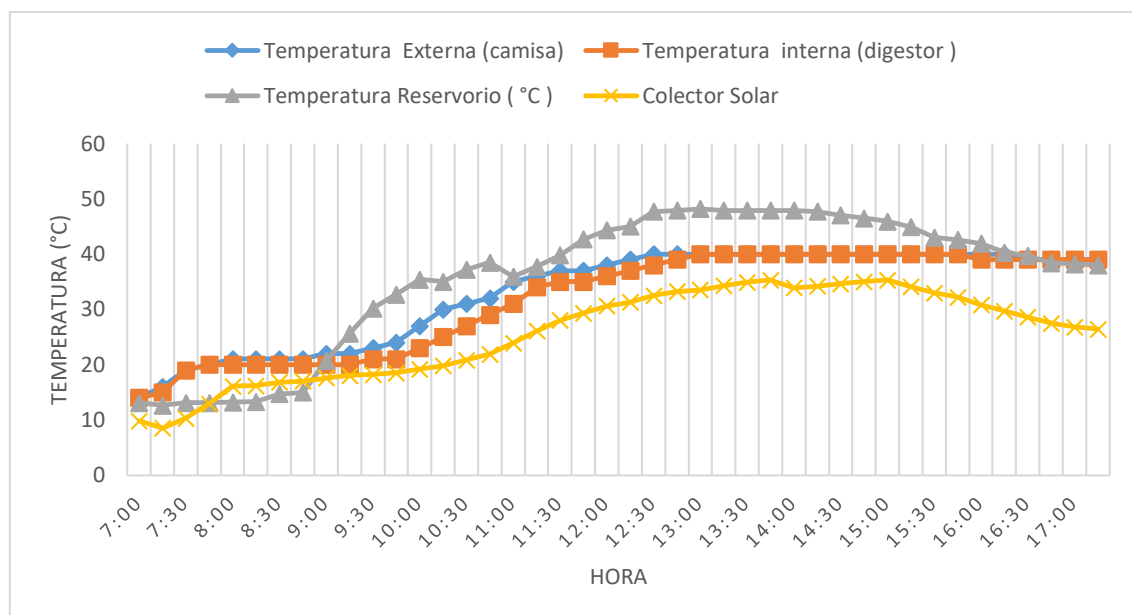
*Biodigestor a 10 grados de inclinación (con recirculación).*



Para la segunda condición de prueba el registro del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 45 grados de inclinación se muestra en el anexo 12 y su comportamiento se presenta a continuación:

**Figura 14**

*Biodigestor a 45 grados de inclinación (con recirculación).*



Debido a que la prueba presenta 2 condiciones variables que en este caso son una inclinación de 10 y 45 grados en el colector solar se aplicó un análisis ANOVA para esta condición, a continuación, se presenta el resumen de los análisis estadísticos.

**Tabla 17**

*Resumen de análisis ANOVA para influencia de inclinación (10 y 45 grados) en el sistema de calentamiento en la prueba con el digestor enchaquetado.*

Origen Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F ratio
Total	11946,68952	41	291,3826713	
Tratamiento	14,91857143	1	14,91857143	0,050012933
Residual	11931,77095	40	298,2942738	

#### 5.3.4.1. Resumen de resultados de la prueba del digestor enchaquetado

##### **interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación**

Una vez realizado el escrutinio de los datos se obtuvo la siguiente tabla resumen con los picos máximos de temperatura a los que llegó el sistema en ambas modalidades en días diferentes.

**Tabla 18**

*Valores máximos de la prueba del digestor enchaquetado interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación.*

RESULTADOS BIODIGESTOR				
10 grados de inclinación (con recirculación)				
Hora	Temperatura externa (camisa)	Temperatura interna (digestor)	Temperatura reservorio (°C)	Colector solar
12:00	37	34	42,6	25,1
12:15	38	36	43,8	27,5
12:30	39	37	44,6	28,6
12:45	40	38	45,5	30,7
13:00	40	38	45,7	30,9
45 grados de inclinación (con recirculación)				
Hora	Temperatura externa (camisa)	Temperatura interna (digestor)	Temperatura reservorio (°C)	Colector solar
12:00	38	36	44,3	30,6
12:15	39	37	45	31,3
12:30	40	38	47,7	32,5
12:45	40	39	47,9	33,2
13:00	40	40	48,2	33,5

#### 5.3.4.2. Análisis de resultados para la prueba del digestor enchaquetado

##### **interconectado con el sistema de calentamiento mediante la aplicación de recirculación de flujo a 10 y 45 grados de inclinación**

Con el resumen de los datos de la prueba y las gráficas de comportamiento del sistema se procede a realizar el análisis correspondiente.

Las temperaturas alcanzadas en cada uno de los puntos de interés en los diferentes días, indican temperaturas máximas en horas similares a las pruebas anteriores, de modo que se encuentran en el rango de 12:45 P.M. – 13:00 P.M. esto debido a que la radiación en este espacio de tiempo es alta.

La tendencia de la temperatura que presenta el colector solar y el reservorio, es igual a las curvas resultantes en las pruebas anteriores por lo que dicho comportamiento resulta ser constante en días con buena actividad solar. Los valores de temperatura en el digestor y la chaqueta, presentan una trayectoria similar a lo largo de la etapa de diagnóstico, lo que es un indicador de que el equipo presenta buena transferencia de calor, con pérdida energéticas mínimas durante el periodo de actividad solar. En esta prueba la trayectoria que recorren los valores de temperatura del reservorio en las 2 condiciones, lo refleja como la fuente principal que mantendrá volúmenes temperados de agua, con el objetivo de mantener un proceso continuo de calentamiento, hasta llegar a un valor establecido.

El análisis estadístico referente a los grados de inclinación de la presente prueba resulto menor que el valor en tablas, de esta manera se confirma de manera prioritaria que el grado de inclinación en colectores solares no mantienen incidencia con los valores del proceso.

El punto crítico del sistema se mantiene debido a que, en condiciones de operación normal del equipo, las temperaturas alcanzadas durante el día irían gradualmente en descenso hasta mantenerse fielmente ligadas a la temperatura ambiente y de esta manera no es posible alcanzar temperaturas adecuadas en las noches y en días sin mucha presencia del sol

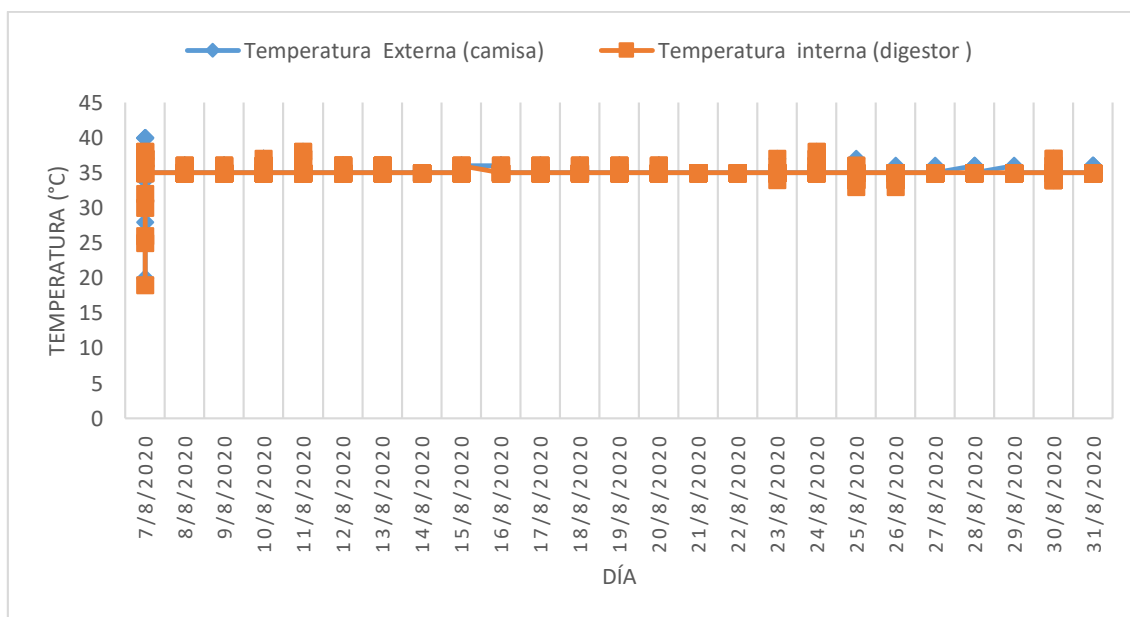
#### **5.4. Puesta en marcha**

##### ***5.4.1. Prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante***

El registro de datos de la prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante se muestra en el anexo 13 y a continuación se presenta el comportamiento del sistema identificando el comportamiento térmico en la figura 15.

**Figura 15**

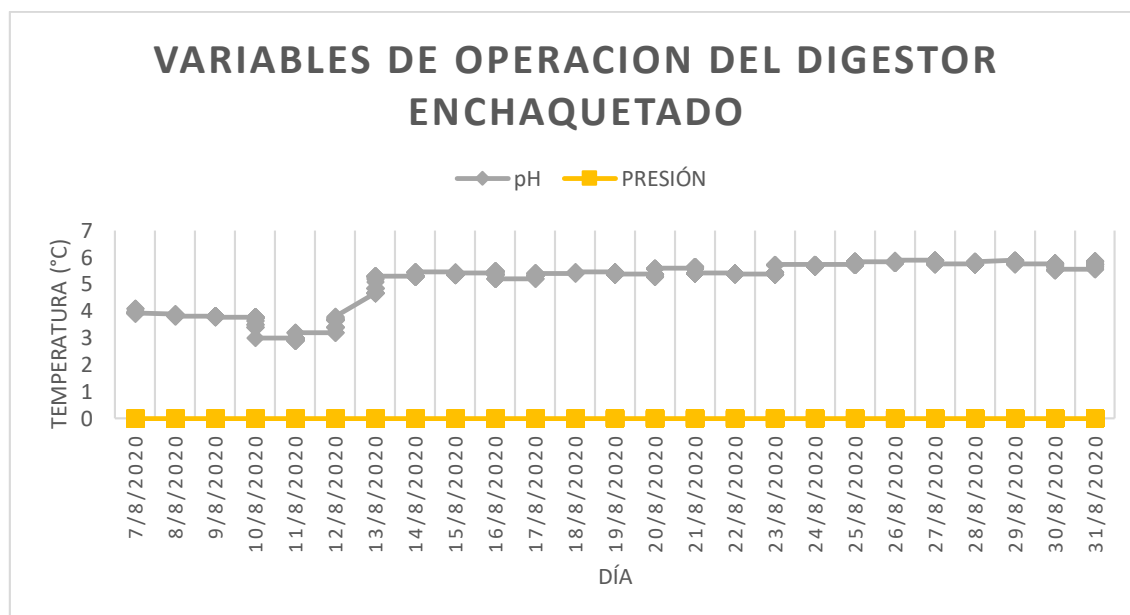
*Comportamiento térmico del digestor enchaquetado.*



Para las variables de control de la prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante, el registro de datos se muestra en el anexo 13 y el comportamiento de las variables de operación presentes en la figura 16.

**Figura 16**

*Variables de operación del digestor enchaquetado.*



#### 5.4.1.1. Análisis de resultados para la prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante

En la prueba del digestor enchaquetado a temperatura constante, se registró cada variable de control necesaria para el adecuado funcionamiento del sistema. El comportamiento del proceso se ve reflejado con cada una de las variables, donde es posible apreciar la linealidad que se logró referente a la temperatura, debido a que en pruebas anteriores se identificó problemas para mantener la temperatura durante la noche, por lo que se aplicó un sistema de emergencia que permitiera una operación constante las 24 horas durante los 21 días de prueba en un rango de 34- 36 ° C en la chaqueta y en el digestor, valores recomendados para un óptimo desarrollo anaerobio según el estudio cinético de bacterias metano génicas a diferente temperatura según Ortiz, Rodríguez, Cajiao y Maldonado (2016).

La trayectoria que registra los valores de pH, representa un adecuado comportamiento anaerobio dentro del digestor, estabilizándose en valores aproximados a 6. La presión dentro del experimento se registró con valores de 0, esto debido a que el volumen biogás generado no

generaba la presión necesaria para ser registrado por el medidor de presión ya que su rango de registro era muy alto y no fue capaz de registrar valores de presión

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

Fruto de la investigación se obtuvo como resultado un digestor con capacidad volumétrica de 5,2 L con dimensiones de 15cm de diámetro por 29 cm de alto en acero inoxidable, se optó por emplear el método de enchaquetado, es decir, una segunda capa incorporada sobre el digestor batch que crea un área anular dentro de la cual circula el medio de calefacción, en este caso agua, la chaqueta cuenta con un diámetro externo al digestor de 30cm. Dentro del tanque para mantener la homogeneidad del proceso se adaptó un juego de aspas a 45° de inclinación de su respectivo eje. En cuanto al colector solar se incorporó un reservorio con un sistema de mangueras interconectado que facilite la recirculación del fluido de calentamiento.

Para controlar que ocurra la reacción anaerobia en el biorreactor se estableció que el equipo tenga como variables de control y operación, temperatura (digestor, camisa de calentamiento, colector solar, reservorio), potencial de hidrógeno, agitación, presión del tanque, las mencionadas variables permitieron establecer la instrumentación necesaria para el reactor anaerobio y camisa de calentamiento.

Establecer instrumentación necesaria para el reactor anaerobio y camisa de calentamiento.

Completar la construcción, arranque y operación del reactor diseñado.

Para suplir la demanda de las características técnicas que permitan el monitoreo de las variables de control y funcionamiento del dispositivo se incorporó: manómetro, agitador con motor eléctrico 24V DC con potenciómetro, termocúpula, sensor de pH shield 1.1, tarjeta arduino, pantalla LCD.



Para llevar a cabo el arranque del digestor en consonancia con el sistema de recirculación es necesario comprender el efecto termosifón y adaptar el sistema interconectado de mangueras para que el flujo de agua sea el indicado durante el intercambio de calor, se demostró que el ángulo de inclinación no tiene influencia en la eficiencia del rendimiento del colector solar, a su vez que la camisa de calentamiento con recirculación brinda estabilidad térmica en rangos de temperatura óptimos para que la digestión anaerobia se lleve a cabo de forma satisfactoria durante su operación.

## **6.2. Recomendaciones**

- Reforzar los métodos de hermetismo de la estructura para incrementar la captación de biogás sin fugas.
- Instalar una prueba piloto controlada en el laboratorio que sea paralela a la puesta en marcha del dispositivo con el fin de contrastar datos de eficiencia del sistema.
- Asegurarse que el aprovechamiento de exposición solar sea el máximo al momento de seleccionar la locación del dispositivo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, D. (2017, julio). Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar. *Trabajo experimental*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arce, J. J. (2011). *Diseño de un Biodigestor para generar biogas y abono a partir de desechos orgánicos de animal aplicable en las zonas agrarias del litoral*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- ARCONEL. (2018). *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano* . ECUADOR: ARCONEL.
- Armijos, N. O., & Morales, D. L. (2012). *Diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua para la curtición de Cueros & Cueros*. Riobamba : Escuela superior Politécnica de Chimborazo .
- Buendía, L., Colás , P., & Hernández , F. (1998). *Métodos de investigación en psicopedagogía*. Madrid: McGraw-Hill.
- Chiriboga, O. G. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.
- Deiana, A. C., Granados, D. L., & Sardella , M. F. (2018). *Balance de masa*. Argentina : Universidad Nacional de San Juan .
- Dergal, S. B. (2006). *Química de los Alimentos*. México D.F: Pearson Educación.
- Domingo, A. (2011). *Apuntes de transmisión del calor* . Madrid.
- Gencel, t. (2007). *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico*. México : McGraw-Hill Interamericana.

- Gonzabay, A. W., & Suárez, P. M. (2016). *Diseño y construcción de un biodigestor anaerobio vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cascarras de naranja y mango* . Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana .
- Hernández , J., García, F., Reyes, V., Santillán, Y., & Méndez, M. (2012). *Caracterización físicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo*. Guanajuato .
- INEC. (2016). *RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS*. INEC.
- Jaramillo , J. D., & Cárdenas , H. A. (2015). *NUMERO DE REYNOLDS*. GIRARDOT: CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS.
- Joan, P. (n.d.). *UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PECUARIOS COMO FERTILIZANTE* . CATALUNYA.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor* . México: Continental, S.A.
- LABARTA, J. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. ESPAÑA: DONOSTIARRA SA.
- Lahoubi, C., Pennel, C., & Rousselle, D. (2008). Modelling of a thermosiphon effect in a radiator. *International Conference on Heat Transfer, fluid mechanics and thermodynamics*. Pretoria: HEFAT2008.
- McCabe , W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (n.d.). *Operaciones Unitarias de Ingeniería Química*. (A. C. Herrera, Trans.) Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana. Retrieved 09 10, 2020
- Megyesy, E. (1992). *Manual de recipientes a presión, Diseño y Cálculo*. Mexico: Limusa .
- METCALF, & EDDY. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES*. In METCALF, & EDDY, *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES* (pp. 199-203). MCGRAW W-HILL.
- MeteoRed. (n.d.). Retrieved 09 13, 2020, from [https://www.meteored.com.ec/tiempo-en\\_Quito-America+Sur-Ecuador-Pichincha--1-20242.html](https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Quito-America+Sur-Ecuador-Pichincha--1-20242.html)

- Novillo , O. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. Quito: Universidad de San Francisco de Quito.
- ORTEGA, L., & Cañadas, V. (2015). Energía solar fotovoltaica. *SEAS*.
- Ortiz, J. L., Rodriguez , J. A., Cajiao, A. M., & Maldonado , J. I. (2016). *Estudio cinético de bacterias metanogénicas a diferentes temperaturas*. Santander: Universidad de Panplona.
- Palacios , A. S. (2011). *Evaluacion y adecuacion de un tanque con agitador y chaqueta de vapor de 0,9 m3 para la pateurización de 880 Kg de pulpa de fruta* . Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral .
- Quispe , M. A. (n.d.). *Operaciones unitarias*. Peru: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rivera, M. F., & Suárez, D. P. (2010). *Diseño y construccion de un biorreactor batch aerobio para cultivo de bacterias biodegradadoras de petroleo*. Riobamba : Escuela Superior Politecnica del Chimborazo .
- Rodríguez, J. A. (2016). *OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA PRECALENTAMIENTO DE AGUA PARA COBERTURAS BLANCA Y OSCURA*. Guayaquil.
- Romero, A. (n.d.). *Tratamiento de aguas residuales* .
- Schallenberg, j., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Sevilla, J. F. (2001). *Tema 5: Trasmicion de calor* . Almeria: Universidad de Almeria.
- THEKAEKARA, M. P. (1976.). *Solar radiation measurement: Techniques and instrumentation*. Gran Bretaña: Pergamon Press.
- TIPAN, E. (2020). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MEZCLAS DE AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA LÁCTEA Y RESIDUOS ORGÁNICOS*

*PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA ÓPTIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. QUITO: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.*

Universidad Nacional del Cuyo. (2012). *Compilado de tablas* . cuyo: Universidad Nacional del Cuyo.

Uribe, V. C. (2013). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS* . Chile: Universidad del Bio-Bio.

ALVAREZ, D. (julio de 2017). Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar. *Trabajo experimental*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Arce, J. J. (2011). *Diseño de un Biodigestor para generar biogas y abono a partir de desechos organicos de animal aplicable en las zonas agrarias del litoral*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana .

ARCONEL. (2018). *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano* . ECUADOR: ARCONEL.

Armijos, N. O., & Morales, D. L. (2012). *Diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua para la curtiduría Cueros & Cueros*. Riobamba : Escuela superior Politecnica de Chimborazo .

Buendía, L., Colás , P., & Hernández , F. (1998). *Métodos de investigación en psicopedagogía*. Madrid: McGraw-Hill.

Chiriboga, O. G. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Deiana, A. C., Granados, D. L., & Sardella , M. F. (2018). *Balance de masa*. argentina : Universidad Nacional de San Juan .

- Dergal, S. B. (2006). *Química de los Alimentos*. Mexico D.F: Pearson Educacion.
- Domingo, A. (2011). *Apuntes de transmisión del calor* . Madrid.
- Gencel, t. (2007). Transferencia de calor y masa un enfoque practico. Mexico : McGrawh  
hilla interamercica.
- Gonzabay, A. W., & Suárez, P. M. (2016). *Diseño y construccion de un biodigestor anaerobio  
vertical semicontinuo para la obtencion de gas metano y biol a partir de las cascaras  
de naranja y mango* . Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana .
- Hernandez , J., García, F., Reyes, V., Santillán, Y., & Méndez, M. (2012). *Caracterización  
fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo*.  
Guanajuato .
- INEC. (2016). *RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS*. INEC.
- Jaramillo , J. D., & Cárdenas , H. A. (2015). *NUMERO DE REYNOLDS*. GIRARDOT:  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS.
- Joan, P. (s.f.). *UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PECUARIOS COMO FERTILIZANTE* .  
CATALUNYA.
- Kern, D. (1999). *Procesos de transferencia de calor* . México: Continental, S.A.
- LABARTA, J. (2012). *Instalaciones solare fotovoltaicas*. ESPAÑA: DONOSTIARRA SA.
- Lahoubi, C., Pennel, C., & Rousselle, D. (2008). Modelling of a thermosiphon effect in a  
radiator. *International Conference on Heat Transfer, fluid mechanics ans  
thermodynamics*. Pretoria: HEFAT2008.
- McCabe , W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (s.f.). *Operaciones Unitarias de Ingenieria  
Quimica*. (A. C. Herrera, Trad.) Mexico D.F: McGraw-will Interamerica. Recuperado  
el 10 de 09 de 2020
- Megyesy, E. (1992). Manual de recipientes a presión, Diseño y Cálculo. Mexico: Limusa .

METCALF, & EDDY. (1995). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. En METCALF, & EDDY, *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES* (págs. 199-203). McGRAW W-HILL.

*MeteoRed*. (s.f.). Recuperado el 13 de 09 de 2020, de [https://www.meteored.com.ec/tiempo-en\\_Quito-America+Sur-Ecuador-Pichincha--1-20242.html](https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Quito-America+Sur-Ecuador-Pichincha--1-20242.html)

Novillo , O. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. Quito: Universidad de San Francisco de Quito.

ORTEGA, L., & Cañadas, V. (2015). Energía solar fotovoltaica. *SEAS*.

Ortiz, J. L., Rodriguez , J. A., Cajiao, A. M., & Maldonado , J. I. (2016). *Estudio cinético de bacterias metanogénicas a diferentes temperaturas*. Santander: Universidad de Panplona.

Palacios , A. S. (2011). *Evaluacion y adecuacion de un tanque con agitador y chaqueta de vapor de 0,9 m3 para la pateurización de 880 Kg de pulpa de fruta* . Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral .

Quispe , M. A. (s.f.). *Operaciones unitarias*. Peru: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Rivera, M. F., & Suárez, D. P. (2010). *Diseño y construccion de un biorreactor batch aerobio para cultivo de bacterias biodegradadoras de petroleo*. Riobamba : Escuela Superior Politecnica del Chimborazo .

Rodríguez, J. A. (2016). *OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA PARA PRECALENTAMIENTO DE AGUA PARA COBERTURAS BLANCA Y OSCURA*. Guayaquil.

Romero, A. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales* .

Schallenberg, j., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., . . . Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.

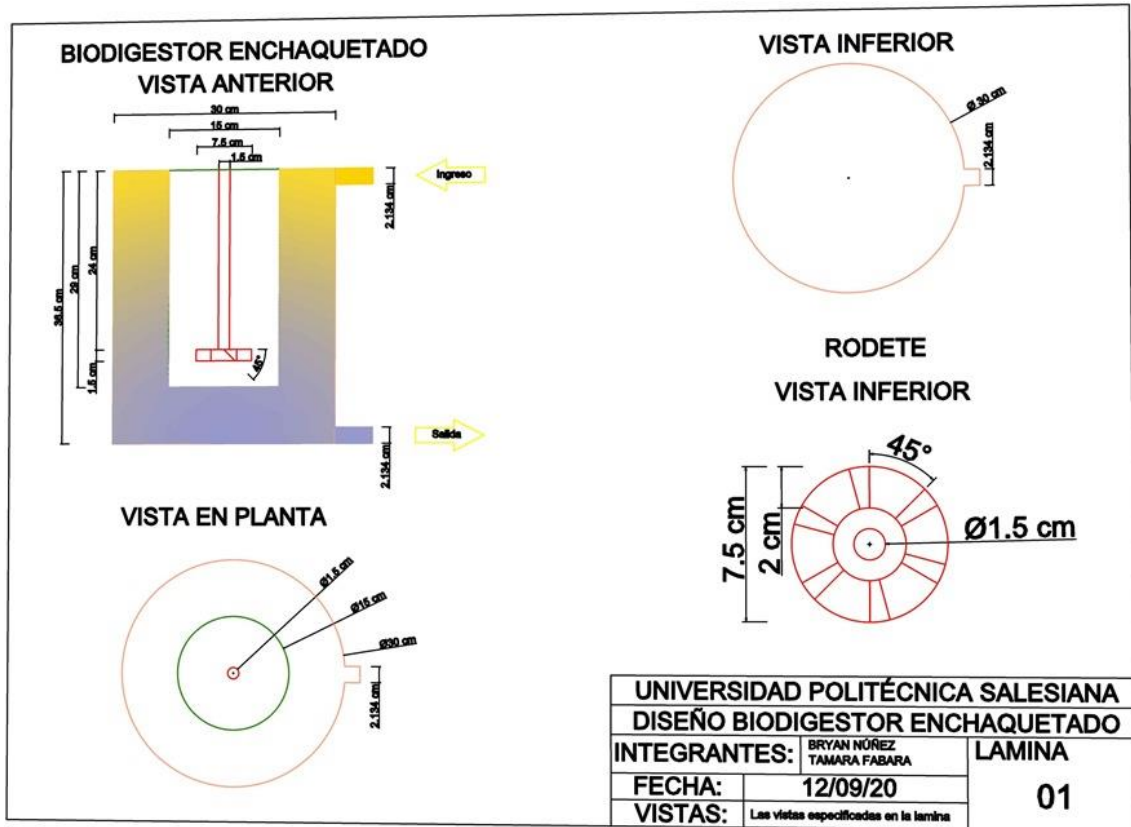
- Sevilla, J. F. (2001). *Tema 5: Trasmision de calor* . Almeria: Universidad de Almeria.
- THEKAEKARA, M. P. (1976.). *Solar radiation measurement: Techniques and instrumentation*. Gran Bretaña: Pergamon Press.
- TIPAN, E. (2020). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE MEZCLAS DE AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA LÁCTEA Y RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA ÓPTIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
- Universidad Nacional del Cuyo. (2012). *Compilado de tablas* . cuyo: Universidad Nacional del Cuyo.
- Uribe, V. C. (2013). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS* . Chile: Universidad del Bio-Bio.



## 8. ANEXOS

### Anexo 1

*Diseño en AutoCAD del digestor enchaquetado.*



## Anexo 2

*Prototipo construido de digestor enchaquetado.*



### Anexo 3

*Vista completa Prototipo construido de digestor enchaquetado.*



#### **Anexo 4**

*Instalación de sistema de calefacción.*





## Anexo 5

*Montaje de prototipo de digestor enchaquetado.*



## Anexo 6

*Sistema de agitación.*



## Anexo 7

*Datos del sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (con recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alternativo ( °C )	Nota/Observación
1	29/7/2020	7:00	Nublado	11,4	14,5	16,6	Prueba en blanco
1	29/7/2020	7:15	Nublado	11,3	14,3	16,7	Prueba en blanco
1	29/7/2020	7:30	Nublado	11,9	14,4	16,6	Prueba en blanco
1	29/7/2020	7:45	Nublado	13,3	14,5	16,6	Prueba en blanco
1	29/7/2020	8:00	Nublado	14,7	14,7	16,7	Prueba en blanco
1	29/7/2020	8:15	Nublado	15,5	14,8	16,8	Prueba en blanco
1	29/7/2020	8:30	Nublado	15,9	14,9	16,8	Prueba en blanco
1	29/7/2020	8:45	Nublado	16,1	15,1	17	Prueba en blanco
1	29/7/2020	9:00	Nublado	16,5	15,8	17,3	Prueba en blanco
1	29/7/2020	9:15	Despejado	18,2	17,8	18,4	Prueba en blanco
1	29/7/2020	9:30	Nublado	17,9	20,8	19	Prueba en blanco
1	29/7/2020	9:45	Nublado	17,4	22,1	19,3	Prueba en blanco
1	29/7/2020	10:00	Nublado	17,7	22,6	19,6	Prueba en blanco
1	29/7/2020	10:15	Nublado	18,1	23,5	19,8	Prueba en blanco
1	29/7/2020	10:30	Nublado	18,2	23,9	19,9	Prueba en blanco
1	29/7/2020	10:45	Nublado	18,2	23,6	20,1	Prueba en blanco
1	29/7/2020	11:00	Nublado	18,2	23,7	20,1	Prueba en blanco
1	29/7/2020	11:15	Despejado	19,1	24	20,2	Prueba en blanco
1	29/7/2020	11:30	Nublado	20,9	25,8	20,9	Prueba en blanco
1	29/7/2020	11:45	Nublado	20,6	27,1	21,5	Prueba en blanco
1	29/7/2020	12:00	Nublado	20,6	27,2	22,4	Prueba en blanco
1	29/7/2020	12:15	Nublado	21,3	28,4	21,8	Prueba en blanco
1	29/7/2020	12:30	Nublado	23,1	29,3	23,1	Prueba en blanco
1	29/7/2020	12:45	Nublado	24,9	31,1	23,8	Prueba en blanco
1	29/7/2020	13:00	Nublado	24,1	33,8	24,8	Prueba en blanco
Temperatura máxima				24,9	33,8	24,8	

## Anexo 8

*Datos del sistema de calefacción a 10 grados de inclinación (sin recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )	Nota/Observación
2	30/7/2020	7:00	Nublado	13,4	13,3	12,8	Prueba en blanco
2	30/7/2020	7:15	Nublado	13,5	13,2	12,7	Prueba en blanco
2	30/7/2020	7:30	Nublado	13,9	13,4	13,2	Prueba en blanco
2	30/7/2020	7:45	Nublado	14,8	13,6	13,1	Prueba en blanco
2	30/7/2020	8:00	Despejado	16,5	13,5	13,3	Prueba en blanco
2	30/7/2020	8:15	Despejado	20,9	14,1	14,5	Prueba en blanco
2	30/7/2020	8:30	Despejado	27,8	15,1	15,4	Prueba en blanco
2	30/7/2020	8:45	Despejado	35,2	16,1	16,8	Prueba en blanco
2	30/7/2020	9:00	Despejado	42,5	17,2	18	Prueba en blanco
2	30/7/2020	9:15	Despejado	48,6	18,5	18,9	Prueba en blanco
2	30/7/2020	9:30	Despejado	48,7	19,1	19,2	Prueba en blanco
2	30/7/2020	9:45	Despejado	49	21,5	20	Prueba en blanco
2	30/7/2020	10:00	Despejado	50,2	21,6	21,5	Prueba en blanco
2	30/7/2020	10:15	Despejado	50,1	22	22,2	Prueba en blanco
2	30/7/2020	10:30	Despejado	50,7	22,2	23,1	Prueba en blanco
2	30/7/2020	10:45	Nublado	47,7	21,6	23,8	Prueba en blanco
2	30/7/2020	11:00	Nublado	47,9	21,8	23,7	Prueba en blanco
2	30/7/2020	11:15	Despejado	47,8	22,3	25,3	Prueba en blanco
2	30/7/2020	11:30	Nublado	45,5	22,7	24,9	Prueba en blanco
2	30/7/2020	11:45	Nublado	43,3	22,9	24,5	Prueba en blanco
2	30/7/2020	12:00	Nublado	45,3	23,5	25,8	Prueba en blanco
2	30/7/2020	12:15	Despejado	44,5	23,8	26,1	Prueba en blanco
2	30/7/2020	12:30	Despejado	51,7	24,3	26,2	Prueba en blanco
2	30/7/2020	12:45	Despejado	53,9	24,8	27,3	Prueba en blanco
2	30/7/2020	13:00	Despejado	47,9	25,1	27,1	Prueba en blanco
	Temperatura máxima			53,9	25,1	27,3	



## Anexo 9

*Datos del sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (con recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )	Nota/Observación
3	2/8/2020	7:00	Despejado	8,5	13	13,7	Prueba en blanco
3	2/8/2020	7:15	Despejado	8,6	13,1	13,8	Prueba en blanco
3	2/8/2020	7:30	Despejado	9,5	13,4	13,6	Prueba en blanco
3	2/8/2020	7:45	Despejado	12,3	13,5	14,1	Prueba en blanco
3	2/8/2020	8:00	Despejado	16,1	13,8	15,1	Prueba en blanco
3	2/8/2020	8:15	Despejado	16,3	14,1	15,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	8:30	Despejado	16,8	15	17	Prueba en blanco
3	2/8/2020	8:45	Despejado	17,9	17,8	18,2	Prueba en blanco
3	2/8/2020	9:00	Despejado	18,5	19,9	18,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	9:15	Despejado	19,9	26,6	19,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	9:30	Despejado	21,3	30,5	21,3	Prueba en blanco
3	2/8/2020	9:45	Despejado	22,9	33,8	22,1	Prueba en blanco
3	2/8/2020	10:00	Despejado	25,2	35,9	22,8	Prueba en blanco
3	2/8/2020	10:15	Despejado	27,1	38,1	24,5	Prueba en blanco
3	2/8/2020	10:30	Despejado	28,8	40,1	25,2	Prueba en blanco
3	2/8/2020	10:45	Despejado	31	41,6	25,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	11:00	Despejado	32,3	43	26,7	Prueba en blanco
3	2/8/2020	11:15	Despejado	33,8	44,5	27,5	Prueba en blanco
3	2/8/2020	11:30	Despejado	35,4	47,6	28,8	Prueba en blanco
3	2/8/2020	11:45	Despejado	35,8	47,8	28,8	Prueba en blanco
3	2/8/2020	12:00	Despejado	36,5	48,7	29,5	Prueba en blanco
3	2/8/2020	12:15	Despejado	37,8	49,2	30,4	Prueba en blanco
3	2/8/2020	12:30	Despejado	38,2	49,8	30,6	Prueba en blanco

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )	Nota/Observación
3	2/8/2020	12:45	Despejado	39,6	50,3	31,2	Prueba en blanco
3	2/8/2020	13:00	Despejado	39,2	50,9	31,5	Prueba en blanco
3	2/8/2020	13:15	Despejado	39,2	50,8	32,2	Prueba en blanco
3	2/8/2020	13:30	Despejado	39,3	50,8	32,1	Prueba en blanco
3	2/8/2020	13:45	Despejado	39,1	50,5	32,3	Prueba en blanco
3	2/8/2020	14:00	Despejado	39,2	50,5	32,5	Prueba en blanco
3	2/8/2020	14:15	Despejado	39,3	50,2	32,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	14:30	Despejado	39	50	32,9	Prueba en blanco
3	2/8/2020	14:45	Despejado	39,3	49,8	33,2	Prueba en blanco
3	2/8/2020	15:00	Despejado	38,5	49	33	Prueba en blanco
Temperatura máxima				39,6	50,9	33,2	

## Anexo 10

*Datos del sistema de calefacción a 45 grados de inclinación (sin recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )	Nota/Observación
4	3/8/2020	7:00	Despejado	7,3	13,5	12,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	7:15	Despejado	7,8	13,5	12,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	7:30	Despejado	8,9	13,5	12,6	Prueba en blanco
4	3/8/2020	7:45	Despejado	12,5	13,6	13,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	8:00	Despejado	19,1	13,8	14,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	8:15	Despejado	25,2	14,1	15,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	8:30	Despejado	31,5	14,5	16,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	8:45	Despejado	38,1	15,2	17,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	9:00	Despejado	44,3	16,1	17,7	Prueba en blanco
4	3/8/2020	9:15	Despejado	47,9	17,5	18,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	9:30	Despejado	52,7	18,5	19,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	9:45	Despejado	56	19,8	20,9	Prueba en blanco
4	3/8/2020	10:00	Despejado	60,8	21,1	22	Prueba en blanco
4	3/8/2020	10:15	Despejado	64	22,2	22,9	Prueba en blanco
4	3/8/2020	10:30	Despejado	68	23,3	23,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	10:45	Despejado	70,6	24,7	24,9	Prueba en blanco
4	3/8/2020	11:00	Despejado	73,2	25,8	25,6	Prueba en blanco
4	3/8/2020	11:15	Despejado	74,4	27	26,5	Prueba en blanco
4	3/8/2020	11:30	Despejado	74,8	28,2	27,3	Prueba en blanco
4	3/8/2020	11:45	Despejado	74,4	29	28	Prueba en blanco
4	3/8/2020	12:00	Despejado	75,2	29,8	28,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	12:15	Despejado	72,1	30,6	29,5	Prueba en blanco

No.	Fecha	Hora	Tiempo	Temperatura Colector solar ( °C )	Temperatura Reservorio ( °C )	Temperatura Reservorio Alterno ( °C )	Nota/Observación
4	3/8/2020	12:30	Despejado	71,9	31,2	29,5	Prueba en blanco
4	3/8/2020	12:45	Despejado	71	32	30,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	13:00	Despejado	72,5	32,3	30,3	Prueba en blanco
4	3/8/2020	13:15	Despejado	73,8	32,8	30,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	13:30	Despejado	73,9	33,1	30,8	Prueba en blanco
4	3/8/2020	13:45	Despejado	74,2	33,6	31,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	14:00	Despejado	72,2	34,3	31,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	14:15	Despejado	71,2	34,7	31,7	Prueba en blanco
4	3/8/2020	14:30	Despejado	70,3	34,9	31,9	Prueba en blanco
4	3/8/2020	14:45	Despejado	71,3	34,8	32	Prueba en blanco
4	3/8/2020	15:00	Despejado	70,4	34,8	32,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	15:15	Despejado	66,2	34,5	32,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	15:30	Despejado	62,9	34,2	32,1	Prueba en blanco
4	3/8/2020	15:45	Despejado	50,9	33,7	32,2	Prueba en blanco
4	3/8/2020	16:00	Despejado	45,9	33,5	31,3	Prueba en blanco
	Temperatura máxima			75,2	34,9	32,2	

## Anexo 11

*Datos de la prueba con biodigestor a 10 grados de inclinación del colector solar (con recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Temperatura Temperatura Externa (camisa)	Digestor ( °C ) Temperatura interna (digestor )	Temperatura Reservorio ( °C )	Colector Solar	Nota/Observación
5	31/7/2020	7:00	15	14	12,4	10,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	7:15	19	18	12,8	11,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	7:30	20	19	13,1	14,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	7:45	20	20	13,5	15,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	8:00	21	20	13,6	16,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	8:15	21	20	13,9	18,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	8:30	21	21	14,6	17	Prueba en blanco
5	31/7/2020	8:45	21	21	17,3	17,9	Prueba en blanco
5	31/7/2020	9:00	22	21	21,9	18,5	Prueba en blanco
5	31/7/2020	9:15	22	21	29,8	19,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	9:30	23	21	29,1	19,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	9:45	24	21	31,3	20,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	10:00	24	21	32,5	21,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	10:15	26	22	34,2	22,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	10:30	27	23	34,8	22,4	Prueba en blanco
5	31/7/2020	10:45	28	24	35,5	23,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	11:00	30	25	36,3	25,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	11:15	31	26	38,3	27,1	Prueba en blanco
5	31/7/2020	11:30	34	28	41,1	23,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	11:45	36	32	42,3	21,9	Prueba en blanco
5	31/7/2020	12:00	37	34	42,6	25,1	Prueba en blanco
5	31/7/2020	12:15	38	36	43,8	27,5	Prueba en blanco

No.	Fecha	Hora	Temperatura Temperatura Externa (camisa)	Digestor ( °C ) Temperatura interna (digestor )	Temperatura Reservorio ( °C )	Colector Solar	Nota/Observación
5	31/7/2020	12:30	39	37	44,6	28,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	12:45	40	38	45,5	30,7	Prueba en blanco
5	31/7/2020	13:00	40	38	45,7	30,9	Prueba en blanco
5	31/7/2020	13:15	40	39	47,7	31,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	13:30	40	40	47,7	31,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	13:45	40	40	47,6	31,5	Prueba en blanco
5	31/7/2020	14:00	40	40	46,8	31,1	Prueba en blanco
5	31/7/2020	14:15	40	39	45,4	29,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	14:30	40	38	44	30,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	14:45	39	38	43,5	30,4	Prueba en blanco
5	31/7/2020	15:00	39	36	43,2	30,4	Prueba en blanco
5	31/7/2020	15:15	37	35	42,7	29,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	15:30	35	35	41,2	28,4	Prueba en blanco
5	31/7/2020	15:45	33	32	40,9	29,9	Prueba en blanco
5	31/7/2020	16:00	32	31	40,6	30,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	16:15	35	35	40,2	30,5	Prueba en blanco
5	31/7/2020	16:30	37	37	39,5	30,1	Prueba en blanco
5	31/7/2020	16:45	38	37	38,5	28	Prueba en blanco
5	31/7/2020	17:00	38	37	37,2	26,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	17:15	38	37	35,7	26,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	17:30	37	36	34,6	26,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	17:45	37	36	33,8	25,2	Prueba en blanco
5	31/7/2020	18:00	36	36	32,7	23,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	18:15	36	36	31,9	22,5	Prueba en blanco
5	31/7/2020	18:30	36	35	30,9	21,3	Prueba en blanco
5	31/7/2020	18:45	36	35	30,1	20,1	Prueba en blanco

No.	Fecha	Hora	Temperatura Temperatura Externa (camisa)	Digestor ( °C ) Temperatura interna (digestor )	Temperatura Reservorio ( °C )	Colector Solar	Nota/Observación
5	31/7/2020	19:00	36	35	29,3	18,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	19:15	36	35	27,6	17,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	19:30	35	34	28,2	17,6	Prueba en blanco
5	31/7/2020	19:45	35	34	27,7	17	Prueba en blanco
5	31/7/2020	20:00	34	34	27,1	16,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	20:15	34	34	26,6	15,9	Prueba en blanco
5	31/7/2020	20:30	34	33	25,9	15,7	Prueba en blanco
5	31/7/2020	20:45	33	33	25	14,8	Prueba en blanco
5	31/7/2020	21:00	33	32	24,9	14,6	Prueba en blanco
	Temperatura máxima		40	40	47,7	31,8	

## Anexo 12

*Datos de prueba con biodigestor a 45 grados de inclinación del colector solar (con recirculación).*

No.	Fecha	Hora	Temperatura Temperatura Externa (camisa)	Digestor ( °C ) Temperatura interna (digestor )	Temperatura Reservorio ( °C )	Colector Solar	Nota/Observación
6	4/8/2020	7:00	14	14	13,1	9,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	7:15	16	15	12,6	8,5	Prueba en blanco
6	4/8/2020	7:30	19	19	13,1	10,3	Prueba en blanco
6	4/8/2020	7:45	20	20	13,1	12,9	Prueba en blanco
6	4/8/2020	8:00	21	20	13,2	16,1	Prueba en blanco
6	4/8/2020	8:15	21	20	13,3	16,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	8:30	21	20	14,7	16,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	8:45	21	20	15	17	Prueba en blanco
6	4/8/2020	9:00	22	20	20,7	17,6	Prueba en blanco
6	4/8/2020	9:15	22	20	25,6	18	Prueba en blanco
6	4/8/2020	9:30	23	21	30,2	18,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	9:45	24	21	32,7	18,5	Prueba en blanco
6	4/8/2020	10:00	27	23	35,4	19,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	10:15	30	25	35	19,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	10:30	31	27	37,2	20,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	10:45	32	29	38,5	21,9	Prueba en blanco
6	4/8/2020	11:00	35	31	35,9	23,9	Prueba en blanco
6	4/8/2020	11:15	36	34	37,7	26,1	Prueba en blanco
6	4/8/2020	11:30	37	35	39,8	28	Prueba en blanco
6	4/8/2020	11:45	37	35	42,7	29,3	Prueba en blanco
6	4/8/2020	12:00	38	36	44,3	30,6	Prueba en blanco
6	4/8/2020	12:15	39	37	45	31,3	Prueba en blanco



No.	Fecha	Hora	Temperatura Temperatura Externa (camisa)	Digestor ( °C ) Temperatura interna (digestor )	Temperatura Reservorio ( °C )	Colector Solar	Nota/Observación
6	4/8/2020	12:30	40	38	47,7	32,5	Prueba en blanco
6	4/8/2020	12:45	40	39	47,9	33,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	13:00	40	40	48,2	33,5	Prueba en blanco
6	4/8/2020	13:15	40	40	47,9	34,3	Prueba en blanco
6	4/8/2020	13:30	40	40	47,9	34,9	Prueba en blanco
6	4/8/2020	13:45	40	40	47,9	35,3	Prueba en blanco
6	4/8/2020	14:00	40	40	47,9	33,9	Prueba en blanco
6	4/8/2020	14:15	40	40	47,7	34,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	14:30	40	40	47	34,6	Prueba en blanco
6	4/8/2020	14:45	40	40	46,5	35	Prueba en blanco
6	4/8/2020	15:00	40	40	45,9	35,3	Prueba en blanco
6	4/8/2020	15:15	40	40	44,9	34,1	Prueba en blanco
6	4/8/2020	15:30	40	40	43	33	Prueba en blanco
6	4/8/2020	15:45	40	40	42,6	32,2	Prueba en blanco
6	4/8/2020	16:00	40	39	41,9	30,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	16:15	40	39	40,3	29,7	Prueba en blanco
6	4/8/2020	16:30	39	39	39,7	28,6	Prueba en blanco
6	4/8/2020	16:45	39	39	38,4	27,5	Prueba en blanco
6	4/8/2020	17:00	39	39	38,2	26,8	Prueba en blanco
6	4/8/2020	17:15	39	39	38	26,4	Prueba en blanco
	Temperatura máxima		40	40	48,2	35,3	

### Anexo 13

*Datos de puesta en marcha de biodigestor enchaquetado.*

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
7/8/2020	7:00	20	19	4,1	0
7/8/2020	8:00	28	25	4,1	0
7/8/2020	9:00	31	26	4	0
7/8/2020	10:00	34	30	3,98	0
7/8/2020	11:00	35	32	3,96	0
7/8/2020	12:00	40	35	3,95	0
7/8/2020	13:00	40	36	3,95	0
7/8/2020	14:00	40	37	3,95	0
7/8/2020	15:00	38	37	3,95	0
7/8/2020	16:00	38	38	3,95	0
7/8/2020	17:00	38	38	3,94	0
7/8/2020	18:00	38	37	3,94	0
7/8/2020	19:00	37	37	3,94	0
7/8/2020	20:00	37	37	3,93	0
7/8/2020	21:00	36	35	3,93	0
7/8/2020	22:00	35	35	3,93	0
7/8/2020	23:00	35	35	3,93	0
8/8/2020	0:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	1:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	2:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	3:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	4:00	35	35	3,89	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
8/8/2020	5:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	6:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	7:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	8:00	35	35	3,89	0
8/8/2020	9:00	35	35	3,86	0
8/8/2020	10:00	35	35	3,86	0
8/8/2020	11:00	36	35	3,86	0
8/8/2020	12:00	36	35	3,86	0
8/8/2020	13:00	36	35	3,86	0
8/8/2020	14:00	36	35	3,86	0
8/8/2020	15:00	36	36	3,84	0
8/8/2020	16:00	36	36	3,84	0
8/8/2020	17:00	36	36	3,84	0
8/8/2020	18:00	36	36	3,84	0
8/8/2020	19:00	36	35	3,84	0
8/8/2020	20:00	36	35	3,84	0
8/8/2020	21:00	36	35	3,84	0
8/8/2020	22:00	35	35	3,84	0
8/8/2020	23:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	0:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	1:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	2:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	3:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	4:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	5:00	35	35	3,81	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
9/8/2020	6:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	7:00	35	35	3,81	0
9/8/2020	8:00	36	35	3,81	0
9/8/2020	9:00	36	35	3,81	0
9/8/2020	10:00	36	35	3,82	0
9/8/2020	11:00	36	35	3,82	0
9/8/2020	12:00	36	36	3,82	0
9/8/2020	13:00	36	36	3,82	0
9/8/2020	14:00	36	36	3,82	0
9/8/2020	15:00	36	36	3,82	0
9/8/2020	16:00	36	35	3,82	0
9/8/2020	17:00	36	35	3,82	0
9/8/2020	18:00	36	35	3,82	0
9/8/2020	19:00	35	35	3,78	0
9/8/2020	20:00	35	35	3,78	0
9/8/2020	21:00	35	35	3,78	0
9/8/2020	22:00	35	35	3,78	0
9/8/2020	23:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	0:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	1:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	2:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	3:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	4:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	5:00	35	35	3,78	0
10/8/2020	6:00	35	35	3,78	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
10/8/2020	7:00	35	35	3,77	0
10/8/2020	8:00	36	35	3,77	0
10/8/2020	9:00	36	35	3,78	0
10/8/2020	10:00	36	35	3,74	0
10/8/2020	11:00	36	35	3,74	0
10/8/2020	12:00	37	36	3,74	0
10/8/2020	13:00	37	36	3,74	0
10/8/2020	14:00	37	37	3,74	0
10/8/2020	15:00	37	36	3,64	0
10/8/2020	16:00	36	36	3,64	0
10/8/2020	17:00	36	35	3,5	0
10/8/2020	18:00	36	35	3,5	0
10/8/2020	19:00	35	35	3,5	0
10/8/2020	20:00	35	35	3,4	0
10/8/2020	21:00	35	35	3,4	0
10/8/2020	22:00	35	35	3,4	0
10/8/2020	23:00	35	35	3	0
11/8/2020	0:00	35	35	3	0
11/8/2020	1:00	35	35	3	0
11/8/2020	2:00	35	35	3	0
11/8/2020	3:00	35	35	3	0
11/8/2020	4:00	35	35	3	0
11/8/2020	5:00	35	35	3	0
11/8/2020	6:00	35	35	2,95	0
11/8/2020	7:00	35	35	2,95	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
11/8/2020	8:00	38	38	2,95	0
11/8/2020	9:00	38	38	2,95	0
11/8/2020	10:00	38	37	2,95	0
11/8/2020	11:00	37	37	2,95	0
11/8/2020	12:00	37	37	2,95	0
11/8/2020	13:00	36	35	2,95	0
11/8/2020	14:00	35	35	2,95	0
11/8/2020	15:00	35	35	2,95	0
11/8/2020	16:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	17:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	18:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	19:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	20:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	21:00	35	35	2,9	0
11/8/2020	22:00	35	35	3,2	0
11/8/2020	23:00	35	35	3,2	0
12/8/2020	0:00	35	35	3,2	0
12/8/2020	1:00	35	35	3,2	0
12/8/2020	2:00	35	35	3,2	0
12/8/2020	3:00	35	35	3,4	0
12/8/2020	4:00	35	35	3,4	0
12/8/2020	5:00	35	35	3,4	0
12/8/2020	6:00	35	35	3,4	0
12/8/2020	7:00	35	35	3,4	0
12/8/2020	8:00	36	36	3,4	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
12/8/2020	9:00	36	36	3,4	0
12/8/2020	10:00	36	36	3,4	0
12/8/2020	11:00	36	36	3,67	0
12/8/2020	12:00	36	35	3,67	0
12/8/2020	13:00	36	35	3,67	0
12/8/2020	14:00	36	35	3,68	0
12/8/2020	15:00	36	36	3,68	0
12/8/2020	16:00	36	36	3,68	0
12/8/2020	17:00	36	36	3,7	0
12/8/2020	18:00	36	36	3,7	0
12/8/2020	19:00	36	35	3,72	0
12/8/2020	20:00	36	35	3,74	0
12/8/2020	21:00	36	35	3,76	0
12/8/2020	22:00	35	35	3,78	0
12/8/2020	23:00	35	35	3,8	0
13/8/2020	0:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	1:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	2:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	3:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	4:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	5:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	6:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	7:00	35	35	4,67	0
13/8/2020	8:00	36	36	5,1	0
13/8/2020	9:00	36	36	4,85	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
13/8/2020	10:00	36	36	4,85	0
13/8/2020	11:00	36	36	4,85	0
13/8/2020	12:00	36	35	4,85	0
13/8/2020	13:00	36	35	4,85	0
13/8/2020	14:00	36	35	5,2	0
13/8/2020	15:00	36	36	5,24	0
13/8/2020	16:00	36	36	5,32	0
13/8/2020	17:00	36	36	5,32	0
13/8/2020	18:00	36	36	5,32	0
13/8/2020	19:00	36	35	5,32	0
13/8/2020	20:00	36	35	5,3	0
13/8/2020	21:00	36	35	5,3	0
13/8/2020	22:00	35	35	5,3	0
13/8/2020	23:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	0:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	1:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	2:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	3:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	4:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	5:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	6:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	7:00	35	35	5,32	0
14/8/2020	8:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	9:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	10:00	35	35	5,3	0



Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
14/8/2020	11:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	12:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	13:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	14:00	35	35	5,3	0
14/8/2020	15:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	16:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	17:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	18:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	19:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	20:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	21:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	22:00	35	35	5,46	0
14/8/2020	23:00	35	35	5,46	0
15/8/2020	0:00	35	35	5,46	0
15/8/2020	1:00	35	35	5,46	0
15/8/2020	2:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	3:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	4:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	5:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	6:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	7:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	8:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	9:00	35	35	5,38	0
15/8/2020	10:00	35	35	5,35	0
15/8/2020	11:00	35	35	5,35	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
15/8/2020	12:00	35	35	5,35	0
15/8/2020	13:00	35	35	5,35	0
15/8/2020	14:00	35	35	5,35	0
15/8/2020	15:00	35	35	5,35	0
15/8/2020	16:00	36	35	5,35	0
15/8/2020	17:00	36	35	5,35	0
15/8/2020	18:00	36	35	5,43	0
15/8/2020	19:00	36	35	5,43	0
15/8/2020	20:00	36	36	5,43	0
15/8/2020	21:00	36	36	5,43	0
15/8/2020	22:00	36	36	5,43	0
15/8/2020	23:00	36	36	5,43	0
16/8/2020	0:00	36	35	5,43	0
16/8/2020	1:00	36	35	5,46	0
16/8/2020	2:00	36	35	5,49	0
16/8/2020	3:00	35	35	5,49	0
16/8/2020	4:00	35	35	5,49	0
16/8/2020	5:00	35	35	5,49	0
16/8/2020	6:00	35	35	5,49	0
16/8/2020	7:00	35	35	5,49	0
16/8/2020	8:00	36	35	5,49	0
16/8/2020	9:00	36	35	5,49	0
16/8/2020	10:00	36	35	5,37	0
16/8/2020	11:00	36	35	5,37	0
16/8/2020	12:00	36	36	5,37	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
16/8/2020	13:00	36	36	5,37	0
16/8/2020	14:00	36	36	5,37	0
16/8/2020	15:00	36	36	5,37	0
16/8/2020	16:00	36	35	5,37	0
16/8/2020	17:00	36	35	5,37	0
16/8/2020	18:00	36	35	5,37	0
16/8/2020	19:00	35	35	5,21	0
16/8/2020	20:00	35	35	5,21	0
16/8/2020	21:00	35	35	5,21	0
16/8/2020	22:00	35	35	5,21	0
16/8/2020	23:00	35	35	5,21	0
17/8/2020	0:00	35	35	5,21	0
17/8/2020	1:00	35	35	5,21	0
17/8/2020	2:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	3:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	4:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	5:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	6:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	7:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	8:00	35	35	5,34	0
17/8/2020	9:00	36	35	5,34	0
17/8/2020	10:00	36	35	5,34	0
17/8/2020	11:00	36	35	5,34	0
17/8/2020	12:00	36	35	5,34	0
17/8/2020	13:00	36	36	5,34	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
17/8/2020	14:00	36	36	5,34	0
17/8/2020	15:00	36	36	5,41	0
17/8/2020	16:00	36	36	5,41	0
17/8/2020	17:00	36	35	5,41	0
17/8/2020	18:00	36	35	5,41	0
17/8/2020	19:00	36	35	5,41	0
17/8/2020	20:00	35	35	5,41	0
17/8/2020	21:00	35	35	5,41	0
17/8/2020	22:00	35	35	5,41	0
17/8/2020	23:00	35	35	5,41	0
18/8/2020	0:00	35	35	5,41	0
18/8/2020	1:00	35	35	5,41	0
18/8/2020	2:00	35	35	5,41	0
18/8/2020	3:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	4:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	5:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	6:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	7:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	8:00	35	35	5,43	0
18/8/2020	9:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	10:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	11:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	12:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	13:00	36	36	5,43	0
18/8/2020	14:00	36	36	5,43	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
18/8/2020	15:00	36	36	5,43	0
18/8/2020	16:00	36	36	5,43	0
18/8/2020	17:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	18:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	19:00	36	35	5,43	0
18/8/2020	20:00	35	35	5,46	0
18/8/2020	21:00	35	35	5,46	0
18/8/2020	22:00	35	35	5,46	0
18/8/2020	23:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	0:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	1:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	2:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	3:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	4:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	5:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	6:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	7:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	8:00	35	35	5,46	0
19/8/2020	9:00	36	35	5,46	0
19/8/2020	10:00	36	35	5,46	0
19/8/2020	11:00	36	35	5,46	0
19/8/2020	12:00	36	35	5,46	0
19/8/2020	13:00	36	36	5,38	0
19/8/2020	14:00	36	36	5,38	0
19/8/2020	15:00	36	36	5,38	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
19/8/2020	16:00	36	36	5,38	0
19/8/2020	17:00	36	35	5,38	0
19/8/2020	18:00	36	35	5,38	0
19/8/2020	19:00	36	35	5,38	0
19/8/2020	20:00	35	35	5,38	0
19/8/2020	21:00	35	35	5,38	0
19/8/2020	22:00	35	35	5,38	0
19/8/2020	23:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	0:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	1:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	2:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	3:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	4:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	5:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	6:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	7:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	8:00	35	35	5,38	0
20/8/2020	9:00	36	35	5,38	0
20/8/2020	10:00	36	35	5,38	0
20/8/2020	11:00	36	35	5,3	0
20/8/2020	12:00	36	35	5,3	0
20/8/2020	13:00	36	36	5,3	0
20/8/2020	14:00	36	36	5,3	0
20/8/2020	15:00	36	36	5,3	0
20/8/2020	16:00	36	36	5,3	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
20/8/2020	17:00	36	35	5,3	0
20/8/2020	18:00	36	35	5,6	0
20/8/2020	19:00	36	35	5,6	0
20/8/2020	20:00	35	35	5,6	0
20/8/2020	21:00	35	35	5,6	0
20/8/2020	22:00	35	35	5,6	0
20/8/2020	23:00	35	35	5,6	0
21/8/2020	0:00	35	35	5,6	0
21/8/2020	1:00	35	35	5,6	0
21/8/2020	2:00	35	35	5,6	0
21/8/2020	3:00	35	35	5,6	0
21/8/2020	4:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	5:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	6:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	7:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	8:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	9:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	10:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	11:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	12:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	13:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	14:00	35	35	5,65	0
21/8/2020	15:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	16:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	17:00	35	35	5,42	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
21/8/2020	18:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	19:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	20:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	21:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	22:00	35	35	5,42	0
21/8/2020	23:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	0:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	1:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	2:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	3:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	4:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	5:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	6:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	7:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	8:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	9:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	10:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	11:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	12:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	13:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	14:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	15:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	16:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	17:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	18:00	35	35	5,42	0



Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
22/8/2020	19:00	35	35	5,42	0
22/8/2020	20:00	35	35	5,38	0
22/8/2020	21:00	35	35	5,38	0
22/8/2020	22:00	35	35	5,38	0
22/8/2020	23:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	0:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	1:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	2:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	3:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	4:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	5:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	6:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	7:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	8:00	37	37	5,38	0
23/8/2020	9:00	36	35	5,38	0
23/8/2020	10:00	35	35	5,38	0
23/8/2020	11:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	12:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	13:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	14:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	15:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	16:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	17:00	35	35	5,46	0
23/8/2020	18:00	35	34	5,46	0
23/8/2020	19:00	35	35	5,46	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
23/8/2020	20:00	35	35	5,74	0
23/8/2020	21:00	35	35	5,74	0
23/8/2020	22:00	35	35	5,74	0
23/8/2020	23:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	0:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	1:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	2:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	3:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	4:00	35	35	5,68	0
24/8/2020	5:00	35	35	5,68	0
24/8/2020	6:00	35	35	5,68	0
24/8/2020	7:00	35	35	5,68	0
24/8/2020	8:00	36	35	5,68	0
24/8/2020	9:00	36	35	5,68	0
24/8/2020	10:00	37	36	5,68	0
24/8/2020	11:00	38	38	5,68	0
24/8/2020	12:00	38	38	5,68	0
24/8/2020	13:00	37	37	5,68	0
24/8/2020	14:00	37	37	5,68	0
24/8/2020	15:00	37	37	5,68	0
24/8/2020	16:00	37	36	5,68	0
24/8/2020	17:00	37	36	5,68	0
24/8/2020	18:00	36	36	5,68	0
24/8/2020	19:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	20:00	35	35	5,74	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
24/8/2020	21:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	22:00	35	35	5,74	0
24/8/2020	23:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	0:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	1:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	2:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	3:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	4:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	5:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	6:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	7:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	8:00	37	36	5,74	0
25/8/2020	9:00	36	36	5,74	0
25/8/2020	10:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	11:00	35	35	5,74	0
25/8/2020	12:00	35	35	5,85	0
25/8/2020	13:00	35	35	5,85	0
25/8/2020	14:00	35	34	5,85	0
25/8/2020	15:00	35	34	5,85	0
25/8/2020	16:00	34	34	5,85	0
25/8/2020	17:00	34	33	5,85	0
25/8/2020	18:00	34	34	5,85	0
25/8/2020	19:00	35	35	5,85	0
25/8/2020	20:00	35	35	5,85	0
25/8/2020	21:00	35	35	5,85	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
25/8/2020	22:00	35	35	5,85	0
25/8/2020	23:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	0:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	1:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	2:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	3:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	4:00	35	35	5,85	0
26/8/2020	5:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	6:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	7:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	8:00	36	35	5,82	0
26/8/2020	9:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	10:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	11:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	12:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	13:00	35	34	5,82	0
26/8/2020	14:00	35	34	5,82	0
26/8/2020	15:00	34	34	5,82	0
26/8/2020	16:00	34	33	5,82	0
26/8/2020	17:00	34	34	5,82	0
26/8/2020	18:00	35	34	5,82	0
26/8/2020	19:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	20:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	21:00	35	35	5,82	0
26/8/2020	22:00	35	35	5,82	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
26/8/2020	23:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	0:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	1:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	2:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	3:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	4:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	5:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	6:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	7:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	8:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	9:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	10:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	11:00	35	35	5,9	0
27/8/2020	12:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	13:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	14:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	15:00	36	35	5,82	0
27/8/2020	16:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	17:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	18:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	19:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	20:00	35	35	5,82	0
27/8/2020	21:00	35	35	5,76	0
27/8/2020	22:00	35	35	5,76	0
27/8/2020	23:00	35	35	5,76	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
28/8/2020	0:00	36	35	5,76	0
28/8/2020	1:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	2:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	3:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	4:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	5:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	6:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	7:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	8:00	35	35	5,76	0
28/8/2020	9:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	10:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	11:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	12:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	13:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	14:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	15:00	36	35	5,82	0
28/8/2020	16:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	17:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	18:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	19:00	35	35	5,82	0
28/8/2020	20:00	35	35	5,85	0
28/8/2020	21:00	35	35	5,85	0
28/8/2020	22:00	35	35	5,85	0
28/8/2020	23:00	35	35	5,85	0
29/8/2020	0:00	36	35	5,9	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
29/8/2020	1:00	35	35	5,9	0
29/8/2020	2:00	35	35	5,9	0
29/8/2020	3:00	35	35	5,9	0
29/8/2020	4:00	35	35	5,9	0
29/8/2020	5:00	35	35	5,9	0
29/8/2020	6:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	7:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	8:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	9:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	10:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	11:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	12:00	35	35	5,87	0
29/8/2020	13:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	14:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	15:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	16:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	17:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	18:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	19:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	20:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	21:00	35	35	5,82	0
29/8/2020	22:00	35	35	5,76	0
29/8/2020	23:00	35	35	5,76	0
30/8/2020	0:00	35	35	5,76	0
30/8/2020	1:00	35	35	5,76	0

Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
30/8/2020	2:00	35	35	5,76	0
30/8/2020	3:00	35	35	5,76	0
30/8/2020	4:00	35	35	5,76	0
30/8/2020	5:00	35	35	5,79	0
30/8/2020	6:00	35	35	5,79	0
30/8/2020	7:00	35	35	5,79	0
30/8/2020	8:00	35	34	5,79	0
30/8/2020	9:00	35	34	5,79	0
30/8/2020	10:00	34	34	5,79	0
30/8/2020	11:00	35	34	5,79	0
30/8/2020	12:00	35	35	5,68	0
30/8/2020	13:00	36	36	5,68	0
30/8/2020	14:00	37	37	5,68	0
30/8/2020	15:00	37	37	5,71	0
30/8/2020	16:00	36	36	5,71	0
30/8/2020	17:00	36	35	5,71	0
30/8/2020	18:00	36	35	5,71	0
30/8/2020	19:00	35	35	5,54	0
30/8/2020	20:00	35	35	5,54	0
30/8/2020	21:00	35	35	5,54	0
30/8/2020	22:00	35	35	5,54	0
30/8/2020	23:00	35	35	5,57	0
31/8/2020	0:00	35	35	5,57	0
31/8/2020	1:00	35	35	5,57	0
31/8/2020	2:00	35	35	5,57	0



Biodigestor					
Fecha	Hora	Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )	pH	PRESIÓN
31/8/2020	3:00	35	35	5,76	0
31/8/2020	4:00	35	35	5,76	0
31/8/2020	5:00	35	35	5,76	0
31/8/2020	6:00	35	35	5,76	0
31/8/2020	7:00	35	35	5,86	0
31/8/2020	8:00	36	35	5,86	0
31/8/2020	9:00	36	35	5,85	0
31/8/2020	10:00	35	35	5,82	0
31/8/2020	11:00	35	35	5,79	0
31/8/2020	12:00	35	35	5,79	0
31/8/2020	13:00	35	35	5,76	0
31/8/2020	14:00	35	35	5,68	0
31/8/2020	15:00	36	35	5,68	0
31/8/2020	16:00	36	35	5,65	0
31/8/2020	17:00	35	35	5,65	0
31/8/2020	18:00	35	35	5,74	0
31/8/2020	19:00	35	35	5,74	0
31/8/2020	20:00	35	35	5,74	0
31/8/2020	21:00	35	35	5,88	0
31/8/2020	22:00	35	35	5,88	0
31/8/2020	23:00	35	35	5,88	0

## Anexo 14

*Datos biodigestor a temperatura ambiente día 1.*

Fecha	Hora ("*" = inicio)	Clima/Tiempo	Temperatura Digestor ( °C )	
			Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )
2/8/2020	7:00	Despejado	16	15
2/8/2020	7:15	Despejado	19	19
2/8/2020	7:30	Despejado	21	21
2/8/2020	7:45	Despejado	22	21
2/8/2020	8:00	Despejado	22	22
2/8/2020	8:15	Despejado	23	22
2/8/2020	8:30	Despejado	23	22
2/8/2020	8:45	Despejado	23	22
2/8/2020	9:00	Despejado	23	22
2/8/2020	9:15	Despejado	23	22
2/8/2020	9:30	Despejado	23	22
2/8/2020	9:45	Despejado	23	22
2/8/2020	10:00	Despejado	23	22
2/8/2020	10:15	Despejado	23	22
2/8/2020	10:30	Despejado	23	22
2/8/2020	10:45	Despejado	23	22
2/8/2020	11:00	Despejado	23	22
2/8/2020	11:15	Despejado	23	22
2/8/2020	11:30	Despejado	24	23
2/8/2020	11:45	Despejado	24	23
2/8/2020	12:00	Despejado	24	23
2/8/2020	12:15	Despejado	24	23

2/8/2020	12:30	Despejado	24	23
2/8/2020	12:45	Despejado	24	23
2/8/2020	13:00	Despejado	25	23
2/8/2020	13:15	Despejado	25	24
2/8/2020	13:30	Despejado	25	24
2/8/2020	13:45	Despejado	25	24
2/8/2020	14:00	Despejado	26	24
2/8/2020	14:15	Despejado	26	24
2/8/2020	14:30	Despejado	26	25
2/8/2020	14:45	Despejado	26	25
2/8/2020	15:00	Despejado	26	25

## Anexo 15

*Datos biodigestor a temperatura ambiente día 2.*

Fecha	Hora ("*" = inicio)	Clima/Tiempo	Temperatura Digestor ( °C )	
			Temperatura Externa (camisa)	Temperatura interna (digestor )
3/8/2020	7:00	Despejado	15	14
3/8/2020	7:15	Despejado	18	18
3/8/2020	7:30	Despejado	20	20
3/8/2020	7:45	Despejado	21	21
3/8/2020	8:00	Despejado	21	21
3/8/2020	8:15	Despejado	22	21
3/8/2020	8:30	Despejado	22	21
3/8/2020	8:45	Despejado	22	21
3/8/2020	9:00	Despejado	22	21
3/8/2020	9:15	Despejado	22	22
3/8/2020	9:30	Despejado	22	22
3/8/2020	9:45	Despejado	22	22
3/8/2020	10:00	Despejado	23	22
3/8/2020	10:15	Despejado	23	22
3/8/2020	10:30	Despejado	23	22
3/8/2020	10:45	Despejado	23	22
3/8/2020	11:00	Despejado	23	22
3/8/2020	11:15	Despejado	23	22
3/8/2020	11:30	Despejado	23	22
3/8/2020	11:45	Despejado	23	23
3/8/2020	12:00	Despejado	24	23

3/8/2020	12:15	Despejado	24	23
3/8/2020	12:30	Despejado	24	23
3/8/2020	12:45	Despejado	24	23
3/8/2020	13:00	Despejado	24	23
3/8/2020	13:15	Despejado	25	23
3/8/2020	13:30	Despejado	25	24
3/8/2020	13:45	Despejado	25	24
3/8/2020	14:00	Despejado	25	24
3/8/2020	14:15	Despejado	25	24
3/8/2020	14:30	Despejado	25	24
3/8/2020	14:45	Despejado	26	24
3/8/2020	15:00	Despejado	26	24
3/8/2020	15:15	Despejado	26	24
3/8/2020	15:30	Despejado	26	25
3/8/2020	15:45	Despejado	26	25